

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ І МЕХАНОТРОНІКИ

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
В.о.завідувача кафедри ПГМ
_____ Олександр ЛУГОВСЬКИЙ
“ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Гідропневмоавтоматика та
гідравлічні і пневматичні машини»

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Система для ультразвукового кавітаційного очищення води

Виконав : студент 2 курсу, групи МА-91мп
(шифр групи)

_____ Завалій Олександр Павлович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник _____ к.т.н., доцент, Гришко І.А. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант Техн. машин. _____ д.т.н., проф., Сохань С.В. _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Гідропневмоавтоматика та гідравлічні і пневматичні машини»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ПГМ

_____ Олександр ЛУГОВСЬКИЙ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Завалію Олександрю Павловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Система для ультразвукового кавітаційного очищення

води

науковий керівник дисертації Гришко Ігор Анатолійович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 03 » листопада 2020 р. № 3205

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження Обробка води ультразвуковою кавітацією _____

4. Вихідні дані: Робоча частота – $22.5 \pm 5\%$ кГц; Продуктивність – до 50 л/хв;
Тиск рідини – до 1.0 МПа; Споживана потужність – $1200 \pm 20\%$ Вт

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) Охарактеризувати головні забруднювачі води; 2) Виконати аналіз існуючих методів очистки води; 3) Розробити УЗ систему для очищення води; 4) Виконати гідравлічний розрахунок; 5) Підібрати вид УЗ кавітатора, розрахувати його; 6) Провес-

ти експерименти по впливу УЗ-кавітації на мікроорганізми; 7) Розробити вимоги для приміщення та обладнання згідно нормативів охорони праці; 8) Розробити стартап-проект _____

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу _____

7. Орієнтовний перелік публікацій 2 публікації _____

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технології машинобудування	Сохань С.В., д.т.н., професор кафедри ТМ		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Характеристика мікроорганізмів і головних забрудників води		
2	Аналіз методів очищення води. Вимоги до питної води та стандарти якості		
3	Розробка гідравлічної схеми, принцип її роботи		
4	Гідравлічний розрахунок системи		
5	Вибір УЗ кавітатора та його розрахунок		
6	Проведення експериментів		
7	Безпечна експлуатація та обслуговування системи		
8	Розробка стартап-проекту		
9	Оформлення пояснювальної записки		
10	Створення плакатів		
11	Оформлення магістерської дисертації		

Студент

Олександр Завалій

АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація присвячена розробці системи для ультразвукового кавітаційного очищення води з метою її використання в процесах водопідготовки та очищенні стічних вод, адже на даний момент часу не існує високоякісного та ефективного обладнання що б могло забезпечити дійсно якісну обробку мільйонів кубічних метрів води щоденно.

У даній роботі проведено детальний теоретичний аналіз головних забруднювачів води та виділено їх основні три види: фізичні, хімічні та біологічні. Було розглянуто 4 основні методи очищення води: фізичні, хімічні, фізико-хімічні та біологічні. Обґрунтовано важливість розробки ультразвукової кавітаційної установки, яка застосовується на практиці, задля експериментального числового знаходження ефективності використання ультразвукового кавітатційного обладнання для фільтрації рідин у різних технологічних процесах.

Для більш чіткого уявлення будови системи наведено гідравлічну схему. Наведено усі необхідні розрахунки для створення системи для ультразвукового кавітаційного очищення води та здійснено підбір гідроапаратури. Запропоновано методика розрахунку, що дозволяє проектувати циліндричні ультразвукові кавітаційні камери. Були проведені експериментальні дослідження з ціллю перевірки ефективності системи.

Магістерська дисертація виконана із застосуванням таких програмних засобів і комп'ютерних технологій, як MS Word (оформлення текстової частини), MS Excel (розрахунок показників), КОМПАС-3Dv18.1 (створення гідравлічної схеми), Abaqus Student Edition 2018 (моделювання роботи акустичної системи) та Internet (опрацювання науково-теоретичних та аналітичних матеріалів).

Ключові слова: кавітація; ультразвук; очищення; вода; метод; мікроорганізми; камера; моделювання.

ANNOTATION

The master's thesis is devoted to the development of a system for ultrasonic cavitation water purification for use in water treatment and wastewater treatment, because at the moment there is no high quality and efficient equipment that could provide truly high-quality treatment of millions of cubic meters of water daily.

In the thesis a detailed theoretical analysis of the main water pollutants was carried out. Also were determined main three types of pollutants: physical, chemical and biological. 4 main methods of water purification were considered: physical, chemical, physicochemical and biological. The importance of developing an ultrasonic cavitation unit, which is used in practice, for the experimental numerical finding of the efficiency of the use of ultrasonic cavitation equipment for liquid filtration in various technological processes is substantiated.

For a clearer picture of the structure of the system, a hydraulic diagram is given. All the necessary calculations for the creation of a system for ultrasonic cavitation water purification are given and the selection of hydraulic equipment is carried out. A calculation method is proposed that allows to design cylindrical ultrasonic cavitation chambers. Experimental studies were conducted to verify the effectiveness of the system.

The master's thesis is executed with application of such software and computer technologies, as MS Word (registration of a text part), MS Excel (calculation of indicators), KOMPAS-3Dv18.1 (creation of the hydraulic scheme), Abaqus Student Edition 2018 (simulation of the speaker system) and the Internet (processing of scientific-theoretical and analytical materials).

Key words: cavitation; ultrasound; cleaning; water; method; microorganisms; cavitation chamber; modeling.

Пояснювальна записка до магістерської дисертації

на тему: Система для ультразвукового кавітаційного очищення води

Київ – 2020 рік
ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. ГОЛОВНІ ЗАБРУДНИКИ ВОДИ.....	13
1.1. Загальна характеристика забрудників води	13
1.2 .Мікроорганізми у воді	17
Висновки до розділу	20
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ	21
2.1. Фізичні способи очищення води	21
2.2. Хімічні способи очищення води.....	24
2.3. Фізико-хімічні методи очищення води	26
2.4. Біологічні способи очищення води	32
2.5. Загальна схема організації процесу очищення стічних вод.....	34
2.6. Вимоги до питної води та стандарти якості	35
Висновки до розділу	38
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНА ПРОПОЗИЦІЯ ПО ОЧИЩЕННЮ ВОДИ.....	39
3.1. Розробка системи для ультразвукового кавітаційного очищення води	40
3.2. Принцип роботи системи	41
Висновки до розділу	42
РОЗДІЛ 4. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАВІТАЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ.....	43
4.1. Гідравлічний розрахунок і вибір розмірів трубопроводів	43
4.2 Підбір гідравлічного обладнання	51

Висновки до розділу	58
 РОЗДІЛ 5. УЛЬТРАЗВУКОВИЙ КАВІТАТОР. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ .	59
5.1. Пристрої для кавітаційної обробки рідини	59
5.2. Методика розрахунку кавітаційної камери.....	63
5.3. Результати моделювання	74
Висновок до розділу.....	76
 РОЗДІЛ 6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	78
Висновок до розділу.....	84
7.1. Технологічний контроль креслення	85
7.2. Вибір заготовки	86
7.3. Вибір типу обладнання, пристроїв та інструменту	87
7.4. Вибір типового технологічного процесу	88
7.5. Зварювання металоконструкцій.....	91
7.6. Зварювання під флюсом	93
7.7. Роботизоване зварювання: технологія, стандарти, методи	96
Висновки до розділу	98
 РОЗДІЛ 8 . БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ.....	100
8.2. Оцінка небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	102
8.3. Шум	103
8.4. Електробезпека	104
8.5. Пожежна безпека.....	105
8.6. Вказівки щодо роботи з системою	106
Висновки до розділу	107

РОЗДІЛ 9. РОЗРОБКА СТАРТАП – ПРОЕКТУ	108
9.1. Опис ідеї проекту	108
9.2. Технологічний аудит ідеї проекту	109
9.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	109
9.4.Розроблення ринкової стратегії проекту	114
9.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	116
Висновки до розділу	119
ВИСНОВКИ.....	120
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	122

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я;
ГДК – гранично допустима концентрація;
ГОСТ – “государственный стандарт” (міждержавний стандарт СНД);
ДНК – дезоксирибонуклеїнова кислота;
ДСН – Державні санітарні норми;
ЄС – Європейський Союз;
РНК – рибонуклеїнова кислота;
РР – робоча рідина;
ПБЕ – Правила побудови електроустановок;
ПТБ – Правила техніки безпеки;
ПУЕ – Правила влаштування електроустановок;
СК – суперкавітуючі;
СПАР – синтетичні поверхнево-активні речовини;
США – Сполучені Штати Америки;
УЗ – ультразвук;
УЗДН-1 – ультразвуковий низькочастотний диспергатор;
УФ – ультрафіолет;
ЧПК – числове програмне керування.

ВСТУП

Активне застосування ультразвукових кавітаційних процесів у різноманітних сферах діяльності дає зрозуміти ефективність даного явища як потужного методу прискорення хімічних реакцій, властивостей водних розчинів чи то механізму видозміни структур. Це пояснюється забезпеченням кавітацією потужних енергетичних впливів на оброблюване середовище, притаманних їй процесів фазових змін в речовинах, що оброблюються, а також скрімким підвищенням швидкості реакції.

Однак, не беручи до уваги позитивні аспекти лабораторних досліджень, доцільно зауважити, що кавітаційна обробка майже не застосовується у водопідготовці та очищенні стічних вод – таких важливих для суспільства процесах. Це може бути пояснено тим, що просто не існує високоякісного та ефективного обладнання що б могло забезпечити дійсно якісну обробку мільйонів кубічних метрів щоденно – таких вагомих обсягів вихідного продукту. Відомо, що використання води неналежної якості дуже сильно впливає на здоров'я людини і термін служби побутової техніки. Тому вода, що надходить зі свердловини або водопроводу, потребує спеціальної обробки, що представляє собою комплекс фізичних, хімічних і біологічних методів. Саме тому, розробка, створення та дослідження даного обладнання є актуальною проблемою в сучасному світі. Зауважимо, що зволікання з вирішенням даної ситуації просто-напросто не є допустимим, адже йдеться мова про збереження навколишнього середовища та, як наслідок, здоров'я людей.

Дослідженням даного питання займалися багато вітчизняних та зарубіжних вчених, серед яких варто виділити Алфьорову А.А., Нечаєва А.П. [1], Гавич І.К. [2], Жукова А.І. [3], Соколова А.К. [4], Товстопалову Н.М., Літинську М.І. [6], Шевчук Л.І. [7], Луговського О. Ф., Гришка І.А. [8] та багатьох інших. Однак, питання не є до кінця розв'язаним, саме тому потребує розробки конкретної системи ультразвукового кавітаційного очищення води.

Мета роботи полягає у розробці спеціальної системи ультразвукового кавітаційного очищення води.

Досягнення мети дослідження зумовило необхідність вирішення таких завдань:

1. аналіз головних забрудників води, у тому числі мікроорганізмів;
2. огляд та оцінка способів і методів очищення води;
3. розробка системи, проведення необхідних розрахунків та підбір обладнання;
4. проведення експериментального дослідження з ціллю можливості знищення мікрообганізмів за допомоги системи ультразвукового кавіаційного очищення води;
5. розробка стартап-проекту з метою впровадження даної системи від ідеї до, власне, виходу на ринок;
6. розробка рекомендацій з приводу застосування системи згідно всіх нормативів охорони праці.

Об'єктом дослідження є процес обробки води методом ультразвукової кавітації.

Предметом дослідження є система ультразвукового кавітаційного очищення води.

У ході дослідження були використані публікації вітчизняних і зарубіжних авторів з проблем зовнішньої заборгованості, мережа Internet, різні методи пізнання: конкретизації, наукового узагальнення, порівняння, аналізу, а також обчислювальні та натурні експерименти.

Магістерська дисертація загальним обсягом 123 сторінка, містить 48 ілюстрацій, 44 таблиці та 37 джерел за переліком посилань.

РОЗДІЛ 1. ГОЛОВНІ ЗАБРУДНИКИ ВОДИ

Проблема забруднення річкових вод в Україні уже давно придбала загальнонаціонального масштабу. За даної ситуації основним методом очищення води було та, власне, й залишається хлорування, що призводить до утворення небезпечних для здоров'я сполук. Не менш важливою проблемою є погана якість очищення стічних вод, адже у більшості регіонів країни повній комплекс зон санітарної охорони та очистих споруд відсутній, і, як наслідок, значний відсоток господарчо-побутових чи промислових відходів зливають у річки. Окрім цього, на якість води впливає і висока температура у літній період, що сприяє розвитку мікроорганізмів та зростанню показників, що характеризують органічне забруднення. Так як ліквідацією даних проблем ніхто не займається, усі рослини перегнивають, і відповідно, псують якість води.

1.1. Загальна характеристика забрудників води

Науково доведено, що більше 400 видів речовин можуть бруднити воду. Загязненою вважається така вода, у якій спостерігається перевищення допустимої норми хоч по одному з показників шкідливості: органолептичному, санітарно-токсикологічному чи загальносанітарному [1].

Виділяють три види забруднювачів: фізичні, хімічні та біологічні. Наприклад, до хімічних забрудників належать такі, як нафтопродукти та нафта, пестициди, діоксини, важкі метали, а до фізичних – тепло, радіоактивні речовини тощо. Однак не менш небезпечними вважаються біологічні забруднювачі: хворобні мікроорганізми чи, для прикладу, віруси [1].

Забруднення поверхневих вод може обумовлюватися рядом чинників, до основних з яких відносять:

1. Витік нафтопродуктів чи нафти.
2. Викиди неочищених стічних вод у водойми.

3. Змивання отрутохімікатів.

4. Газодимові викиди тощо.

Перелік найпоширеніших забрудників водойм по різних галузях промисловості можемо розглянути у рис. 1.1.

Окрім поверхневих водойм, прослідковується постійне забруднення підземних вод, у першу чергу у великих промислових центрах. Забруднювачі зазвичай проникають до підземних водойм наступними шляхами: по затрубному просторі несправних свердловин, при просочуванні промислових і господарсько-побутових стоків зі сховищ, ставків-накопичувачів, відстійників тощо [2].

Морські води та сильно мінералізовані підземні води належать до природних джерел забруднення. Перші можуть впроваджуватися в прісні незабруднені води під час відкачування води зі свердловини або ж, наприклад, при експлуатації водозабірних споруд.

Нафтопереробка та нафтогазовидобування	• Феноли, сульфіди, нафтопродукти, СПАР, амонійні солі
Лісова промисловість	• Азот, сульфати, лігніни, органічні, смолисті і жирні речовини
Легка, текстильна, харчова промисловість	• СПАР, нафтопродукти, органічні барвники та ін.
Вугільна та гірничодобувна промисловість	• Неорганіка, феноли, флотореагенти, зважені речовини
Металургія, металообробка, машинобудування	• Цианіди, нафтопродукти, смоли, важкі метали, завислі речовини, фториди
Хімічна промисловість	• Феноли, нафтопродукти, фроматичні вуглеводні, неорганіка

Рис. 1.1. Переважаючі види забруднюючих речовин у розрізі галузей промисловості

Варто зауважити, що забруднення підземних вод ніяким чином не обмежується прощею сховищ відходів чи то промислового підприємства. Воно поширюється вниз за напрямком потоку на відстань до 30 кілометрів і більше від джерела забруднення, а це, в свою чергу, формує реальну загрозу для водопостачання, тим більше питного [2].

Для всіх живих організмів, в тому числі людини, забруднення водою складає суттєву небезпеку. Наприклад, негативні наслідки при використанні забрудненої води чи безпосередньому контакті з нею (правння, риболовля, купання) можуть проявлятися чи у процесі пиття, чи у результаті біологічного накопичення. Окрім цього, різні паразити, при прямому контакті людини з бактерально забрудненою водою, можуть з легкістю проникнути у шкіру і викликати такі тяжкі захворювання, як холера, дизентерія, червоний тиф та багато інших.

Чи не найбільш важливою проблемою серед водоохоронних є розроблення і впровадження дійсно ефективних методів очищення та, власне, знезараження вод, що використовуються для питного водопостачання.

Серед найпоширеніших домішок, що можуть погіршувати якість питної води, виділяють такі [3]:

1. Зважені речовини - емульсії та суспензії, нерозчинні у воді. Якщо у воді виявлено такі речовини, це може свідчити про її забруднення мулом, піском, глиною, водоростями тощо.
2. Органічні речовини (природне походження) - результати розкладання рослинних і тваринних організмів, частинки ґрунтового гумусу.
3. Органічні речовини (техногенне походження) – це різноманітні бідки, жири, білки, вуглеводи, органічні кислоти, феноли тощо.
4. Мікроорганізми – віруси, бактерії та планктон.
5. Солі твердості – магнієві чи кальцієві солі таких кислот, як вугільна, сірчана, соляна та азотна.
6. Гази, розчинні у воді – метан та сірководень.

7. Сполуки марганцю та заліза - органічні поєднання, хлориди, сульфати, гідрокарбонати та інші.

8. Сполуки азоту - нітрати, нітрити, аміак.

Вплив різноманітних домішок на якість води [4]:

1. Каламутна вода свідчить про її високий рівень забрудненості зваженими речовинами, що, в свою чергу, перешкоджає її використанню в господарсько-питних цілях.

2. Різні запахи (наприклад, болотний, аптечний, землистий, рибний чи гнильний) викликаються органічними речовинами, що, до того ж, підвищують піноутворюваність, кольоровість, а також несприятливо впливають на організм людини.

3. У значній кількості солі твердості можуть зробити воду непридатною для пиття чи інших господарських потреб, адже у жорсткій воді повільно розварюються овочі чи м'ясо, перестають працювати водонагрівачі, зростає витрата миючих засобів при митті посуду чи пранні тощо.

4. Мікроорганізми можуть спричинити захворювання на холеру, тиф чи дизентерію, та збільшують кількість органіки.

5. Марганець та залізо не лише викликають неприємне чорне чи червоно-коричневе забарвлення, а й можуть погіршити її смак, адже викликають розвиток залізобактерій. Постійне накопичення в організмі заліза збільшує ризик інфаркту, а тривале споживання води, що вміщує залізо, затне викликати захворювання печінки або знизити репродуктивну функцію організму. Особливою терпкістю відрізняються марганцевмісні води, що спричиняють токсичну дію на організм.

6. Сірководень у воді надає їй неприємний запах, погіршує якість та здатен спровокувати розвиток сіробактерій.

7. Синтез нітратів, що, в свою чергу, викликають злоякісні пухлини, в організмі людини спостерігається при використанні питної води з нітратами в кількості понад 45 мг/л.

8. Наявність в воді сірководню різко погіршує її якість, надає неприємний запах, провокує розвиток сіробактерій.

Отже, господарсько - питна вода повинна мати лише якісні хімічні, фізичні та сантарні показники, тобто бути нешкідливою для здоров'я людини.

Для очищення чи знезараження води обирають спеціальні методи. Їх вибір здійснюється на базі дослідження властивостей вихідної води, запасів у джерелі, здатності канаалізації до прийому забруднень із вже очищеної води та інших факторів.

1.2 .Мікроорганізми у воді

Науково досліджено кілька тисяч мікроорганізмів, що проживають у воді, - це різноманітні бактерії, грибки тощо. Усі вони є невід'ємною складовою біологічного життя планети [5].

Спробуємо здійснити класифікацію водних мікроорганізмів на такі групи [5]:

- Ціанобактерії, або синьо-зелені водорослі є невіддільною складовою чи не кожної водойми, адже саме вони складають близько 60% від усіх мікроорганізмів.
- Мікроорганізми, що вважаються патогенними або умовно патогенними – це різноманітні найпростіші, грибки, віруси та бактерії.
- Умовно безпечні мікроорганізми, що присутні у воді, однак мають нейтральний характер, тобто не несуть загрози та не викликають небезпечних хвороб.

Зауважимо, що різноманіття мікроорганізмів у воді та їх життєдіяльність дуже високі, бо вони [5]:

1. стійкі до температур (для прикладу: у 1 граму води Антарктиди розміщується до 100 клітин бактерій, а деякі мікроорганізми здатні фотосинтезувати навіть в гарячих джерелах при 75°C).

2. стійкі не лише до лужного чи кислого середовища, а й до спирту (алкоголь може знищити тільки 70% бактерій);

3. стійкі до солей (наприклад, в антарктичних озерах солей в 13 разів більше, ніж у морській воді);

4. стійкі до іонізуючого випромінювання.



Рис. 1.2. Мікроорганізми у воді

Для глибшого розуміння розташуємо джерела води за ступенем поширення бактерій в порядку зростання:

- вода з глибоких свердловин;
- лід у розмороженому стані — бактерій майже немає, однак деякі спори здатні виживати при заморожуванні;
- атмосферні опади, які досить часто накопичують мікроорганізми чи пил з повітря;
- солоні водойми (хоч і мають меншу кількість мікроорганізмів, так як мембрани багатьох бактерій можуть пошкоджуватися різноманітними солями);
- поверхневі водойми (ріки, ставки, колодязі) вміщують найбільшу мікробну видову різноманітність.

Доцільно зауважити, що сучасні бактерії можуть не лише розкласти біологічні відходи. Окрім цього, вони здатні виконувати такі важливі функції, як, наприклад, руйнування токсичних органічних стоків підприємств, або концентрація токсичних важких металів. Зазвичай цю здатність мікробів використовують на станціях, що спеціалізуються на біологічному очищенні води.

У природних поверхневих водах постійно розміщуються різноманітні мікроорганізми. Зауважимо, що їх найбільша чисельність зосереджується саме в поверхневих стоячих водоймах.

Способи споживання забрудненої води не лише в питих, а й в технічних цілях, є обмеженими, адже така вода потребує дезінфекції. За допомогою наступних показників зможемо визначити ступінь забруднення води мікроорганізмами [5]:

1. рівень окиснюваності — орієнтований на виявлення кількості сильних окиснювачів, що використовуються з ціллю руйнування мікроорганізмів в об'ємі води. Звернімо увагу на те, що це непрямий показник, адже окислюються не лише клітини мікроорганізмів, а також органічні домішки;
2. загальне число мікробів — це кількість мікроорганізмів, що виросли на певному середовищі (1 мл води) за певний проміжок часу (зазвичай для аналізу береться 24 або 72 години);
3. колі-титр — це найменший об'єм води (в мілілітрах), що вміщує одну кишкову паличку;
4. колі-індекс — це обсяг кишкових паличок в 1 літрі води.

Висновки до розділу

Отже, забрудненою вважається така вода, у якій спостерігається перевищення допустимої норми хоч по одному з показників шкідливості: органолептичному, санітарно-токсикологічному чи загальносанітарному. Усього виділяють три види забруднювачів: фізичні, хімічні та біологічні. До хімічних забрудників належать такі, як пестициди, діоксини, до фізичних – тепло, радіоактивні речовини, а до біологічних - хворобні мікроорганізми.

Для всіх живих організмів, в тому числі людини, забруднення водою складає суттєву небезпеку. Саме тому однією з найважливіших водоохоронних питань сучасності є розроблення дійсно ефективних методів очищення та, власне, знезараження вод, що могли б використовуватися для водопостачання.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

Різноманітність забруднювачів породжує не меншу різноманітність способів очищення води від них. Проте, їх все можна розділити на групи за принципом дії. Таким чином, найбільш загальна класифікація способів очищення виглядає наступним чином [7]:

- фізичні;
- хімічні;
- фізико-хімічні;
- біологічні.

Кожна з груп способів включає в себе безліч конкретних варіантів реалізації процесу очищення і його апаратного оформлення. Так само необхідно враховувати, що очищення води, як правило, - це комплексне завдання, що вимагає для свого рішення комбінації різних способів для досягнення максимальної ефективності [9]. Комплексність завдання очищення обумовлюється характером забруднення - зазвичай в якості небажаних компонентів виступає цілий ряд речовин, які потребують різного підходу. Установки очищення, засновані на одному способі, зазвичай зустрічаються в тих випадках, коли вода переважно забруднена одним або декількома речовинами, ефективне відділення яких можливо в рамках одного способу. Як приклад можна привести стічні води різних виробництв, де хімічний і кількісний склад забруднювачів заздалегідь відомий і не відрізняється великою різноманітністю [10].

2.1. Фізичні способи очищення води

В основі роботи фізичних способів очищення води лежать різні фізичні явища, які використовуються для впливу на воду або що містяться в ній забруднення. У процесі очищення достатньо великих обсягів води дані способи застосовуються переважно для видалення досить великих твердих часток і

виступають в ролі попередньої стадії грубої очистки, покликаної знизити навантаження на наступні стадії тонкого очищення. У той же час існує ряд фізичних методів, здатних проводити глибоке очищення води, але, як правило, продуктивність таких методів досить низька.

До основних фізичних методів очищення води відносять:

- проціджування;
- відстоювання;
- фільтрування;
- ультрафіолетова обробка.

Проціджування – це процес пропускання води, яка очищується через різноманітні сита чи решітки, за допомогою яких здійснюється затримка великих забруднювачів. Даний метод відноситься до грубої очистки. Його призначення - видалення з води, що очищається, легко відокремлюючих забруднювачів з метою зниження навантаження на очисні споруди, і забезпечення працездатності наступних установок тонкого очищення, які можуть вийти з ладу через потрапляння великих механічних часток [10].

Відстоювання полягає у відділенні частини механічних забруднень з води під дією гравітаційних сил, які змушують частки опускатися на дно, утворюючи осад. Відстоювання може виступати як в якості попередньої стадії очищення, на якій відокремлюються найбільші забруднювачі, так і в якості проміжних стадій. Даний процес здійснюється в відстійниках - резервуарах, забезпечених пристроями для видалення осаду, час перебування води в яких розраховується з умови повного осадження всіх забруднюючих частинок, які повинні бути відокремлені (рис.2.1).

Фільтрування ґрунтується на проходженні води, що очищається, через пористий шар фільтруючого матеріалу, на якому відбувається затримання частинок певного розміру. За своїм принципом фільтрація схожа з проціджуванням, проте за допомогою неї можна здійснювати не лише грубу, а й тонку очистку. Фільтрація допомагає позбутися таких забруднювачів як мул, пісок, окалина, а також різних твердих часток розміром в декілька мікрон. Крім

того, за допомогою фільтрації можна поліпшити органолептичні якості води. Механічна фільтрація набула широкого поширення, як у великих установках водоочищення, так і в побутових фільтрах малої продуктивності.

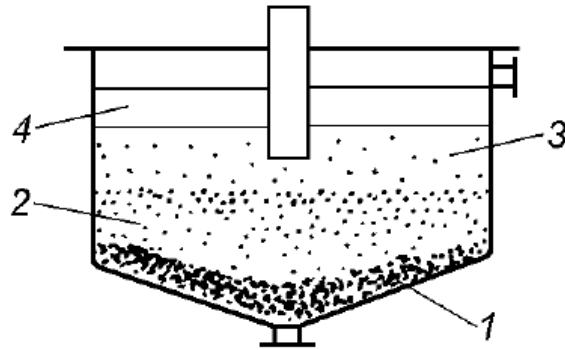


Рис. 2.1. Схема процесу відстоювання.

1 – шар осаду, 2 – зона згущеної суспензії, 3 – зона вільного осадження,
4 – освітлена рідина.

Ультрафіолетова дезінфекція води, хоч і не здійснює безпосереднє очищення, але активно застосовується в процесі підготовки води, і полягає в обробці вже очищеної води ультрафіолетовою частиною спектра світла (зауважимо, що зазвичай використовують діапазон хвиль довжиною 200-400 нм), що є невидима для людських очей, з ціллю знезараження води (рис.2.2).

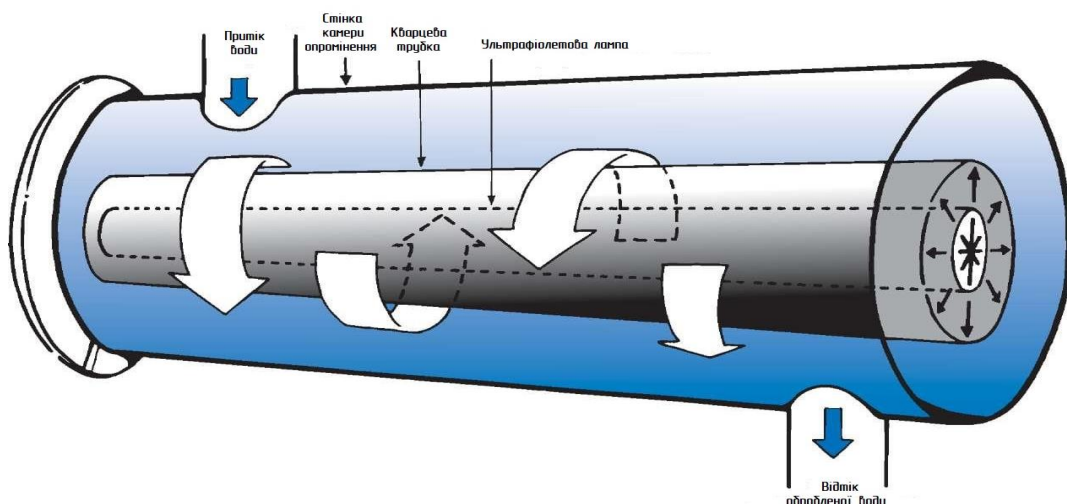


Рис. 2.2. Дезінфекція води ультрафіолетовим випромінюванням

Загибель живих організмів під згадуваним випромінюванням настає внаслідок пошкоджень молекул ДНК і РНК, що викликано реакціями, що виникають в їх структурі.

Перевагами такого способу знезараження є незалежність процесу від складу води і збереження цього складу після УФ обробки. Проте необхідно враховувати наявність в воді твердих домішок, здатних надавати екранізуючий ефект по відношенню до випромінювання [10].

2.2. Хімічні способи очищення води

Методи очищення даної групи засновані на хімічній взаємодії певних речовин (реагентів) з забруднювачами, в результаті чого другі або розкладаються на безпечні компоненти, або переходять в інший стан (наприклад, утворюють нерозчинні сполуки, що випадають в відокремлюваний осад). Незважаючи на величезну різноманітність можливих забруднювачів і хімічних реакцій, в які ці забруднювачі можуть вступати, виділяють ряд способів очищення, кожен з яких принципово відрізняється за типом хімічної взаємодії:

- нейтралізація;
- окислення;
- відновлення.

Як зрозуміло з назви, перший спосіб очищення полягає у здійсненні процесу нейтралізації, у ході якого відбувається вирівнювання кислотно-лужного балансу за рахунок взаємодії лугів та кислот, наслідком якої є утворення відповідних солей та води. Нейтралізацію зазвичай здійснюють або шляхом змішування води, що очищається, з кислотним та лужним середовищами, або за допомогою додавання реагентів, що створюють у воді середовище певної реакції (кислотної або лужної). Для нейтралізації кислих стоків зазвичай використовують аміачну воду (NH_4OH), гідроксиди натрію і калію (NaOH і KOH), кальциновану соду (Na_2CO_3), вапняне молоко (Ca(OH)_2) і

т.д. У разі лужних стоків застосовують різні розчини кислот, а також кислі гази, що містять такі оксиди як CO_2 , SO_2 , NO_2 і т.д. У ролі кислих зазвичай використовують гази, які пропускають через воду, що очищається, при цьому попутно здійснюється процес очищення і самих газів від твердих часток [10].

Окислення і відновлення також застосовується з ціллю очистки води від різних типів забрудників, хоча на практиці співвідношення їх використання сильно зміщено у сторону окислювачів. Незважаючи на те, що в реакції нейтралізації також протікають паралельні процеси окислення і відновлення, даний метод відрізняється використанням більш сильних окислювачів і відновників, так як цільові забруднювачі просто не будуть вступати в реакцію з речовинами, використовуваними в методі очищення нейтралізацією. За допомогою них, здійснюють знешкодження не лише різноманітних токсичних речовин, а й інших забрудників, яких важко видобути з води іншими способами. Реакція окиснення застосовується для переведення токсичних забруднювачів в менш токсичні або ж зовсім нетоксичні форми. До того ж, наслідком використання досить сильних окислювачів є загибель мікроорганізмів, яка відбувається в результаті окислення їх клітин.

В основному застосовують хлоровмісні окислювачі: газоподібний хлор (Cl_2) а також різні хлор сполуки, такі як діоксид хлору (ClO_2), гіпохлорид калію, натрію і кальцію (KClO ; NaClO ; $\text{Ca}(\text{ClO})_2$). Крім цього, часто використовують перекис водню (H_2O_2), перманганат калію (KMnO_4), озон (O_3), кисень (O_2), дихромат калію ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) і т.д.

Хлорування, як спосіб обробки, широко застосовується в підготовці води. Обробка хлором володіє також пролонгованою антибактерицидною дією, що особливо важливо при водопостачанні в умовах зношених трубопроводів, де може відбуватися вторинне забруднення води. Крім того, реагенти для хлорування відносно дешеві і доступні. У той же час у цього методу є ряд недоліків, які спонукають шукати альтернативи. У деяких випадках побічні сполуки, що утворюються після хлорування, можуть бути не менш токсичними.

Окрім цього, сам хлор є отруйною речовиною, тому потрібно ретельно дотримуватися умов дозування під час хлорування.

На даний момент все більшого поширення набуває обробка води озоном (озонування), оскільки ефективність цього методу багаторазово перевершує хлорування, озон не утворює небезпечних сполук і з часом розпадається на безпечний двоатомний кисень (O_2), тобто у випадку передозування озоном, не повинно виникнути небезпечних чи то небажаних наслідків. Не лише економічна і технічна складність отримання озону в достатній кількості, а й його вибухонебезпечність, перешкоджають широкому поширенню озонування. Тому даний метод вимагає дотримання суворих правил безпеки на очисних спорудах [10].

2.3. Фізико-хімічні методи очищення води

Фізико-хімічні методи очищення води з'єднують водночас в собі і хімічний, і фізичний вплив на забрудники води. Дана група методів досить різноманітна, їх використовують для видалення абсолютно різних речовин. Зазвичай дані методи застосовують або на етапі попереднього очищення, або на пізніх стадіях глибокої очистки.

Різнманітність методів цієї групи є доволі значна, тому зазначимо найбільш поширені з них:

- коагуляція;
- флокуляція;
- флотація;
- електродіаліз;
- сорбція;
- іонний обмін;
- аерація;
- зворотній осмос.

В основі методу коагуляції лежить здійснення дозиції в воду спеціального розчину-коагулянту, наприклад, сульфат алюмінію (алюмінію сірчаноокислого). Ці речовини сприяють склеюванню і, таким чином, укрупненню дрібнодисперсних суспензій у воді. Злиплі забруднення випадають в осад і потім легко видаляються сорбційно-освітлюючими очисними установками або фільтрами тонкої механічної очистки.

Флокуляцію відносять до одного з різновидів коагуляції. Реагенти-флокулянти представляють собою високомолекулярні сполуки, які адсорбують ниткоподібні макромолекули одночасно на різних частках. Після чого вони перетворюються в великі пухкі пластівці, які легко затримуються в процесі фільтрації води. У природі також існують свої флокулянти, наприклад, крохмаль, декстрин, ефіри целюлози, альгінат натрію і гуарові смоли [10].

Процесом відділення гідрофобних частинок у ході пропущення через великого числа бульбашок газу через воду називають флотацією. За даного методу очищення частинки із дрібними забруднюючими речовинами прикріплюються до бульбашок та піднімаються на поверхню разом із ними, у результаті чого, утворюється шар піни, який можна легко відділити (рис. 2.3). Однак, у випадку, якщо забруднююча частка є більшою за розміром ніж бульбашки, то разом частка та бульбашка можуть утворити так званий флотокомплекс.

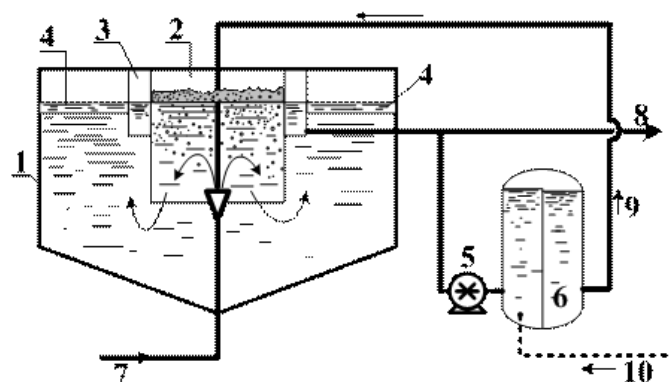


Рис. 2.3. Схема флотатора-відстійника.

1 – відстійник, 2 – флотаційна камера, 3 – кільцевий водозбірний лоток,

4 – радіальні збірні лотки, 5 – насос, 6 – повітророзчинник (сатуратор),
7 – вода для очищення, 8 – вода після очищення, 9 – рециркуляційна лінія
аерованої води, 10 – стиснуте повітря.

Доцільно зауважити, що флотацію можуть комбінувати із застосуванням хімічних реагентів, з ціллю досягнення зниження змочуваності забруднювача та, власне, укрупнення часток забруднюючої речовини. Зазначимо, що флотацію у більшості випадків застосовують з метою очищення води від різних нафтопродуктів або ж відділення твердих домішок, видалення яких іншими способами неефективно [10].

Виділяють пінну, напірну, механічну, пневматичну, електричну, та хімічну флотацію.

Високий вміст солей у воді призводить до заростання трубопроводів і обладнання відкладеннями солей магнію і кальцію, крім того, постійне вживання мінералізованої води викликає ряд захворювань. Для знесолення застосовують різні методи, одним з яких є електродіаліз.

Електродіаліз - один з найбільш екологічних і недорогих методів знесолення, застосовується з 60-х років минулого століття. Принцип дії електродіалізу для очищення води заснований на русі позитивних і негативних іонів до електродів під впливом електричного струму [14].

Найпростіша електродіалізна установка для знесолення води являє собою трисекційну проточну ємність з електродами в крайніх камерах. Резервуар розділений двома електродіалізними мембранами, одна з яких пропускає негативно заряджені іони (аніони), а інша - позитивно заряджені (катіони). Під впливом електричного поля катіони і аніони з секції між мембранами в електродіалізній установці переходять в крайні камери, поруч з електродами. В результаті біля електродів збираються розчини лугів і кислот, а в міжмембранному просторі залишається обезсолена вода [10].

Виділяють такі переваги очищення води методом електродіалізу:

- Тривалий термін служби установок. Електродіалізатори води не мають рухомих частин, що істотно збільшує надійність установок, а термін служби мембран для електродіалізу становить 5-10 років.
- Мінімальні втрати води. У циркуляційних апаратах розчини солей надходять на повторний електродіаліз. Можливий варіант багаторазового повторення циклів очищення до досягнення необхідного вмісту солей. Основна частка втрат води при електродіалізі доводиться на попередню підготовку.
- Низька енергоємність. Витрати електроенергії на очистку 1 літра води складають всього 1-2 Вт.
- Мінімальні вимоги до якості вихідної води. Для очищення води за методом електродіалізу досить фільтрації від твердих частинок і з'єднань, що руйнують мембрану.
- Можливість фільтрувати сильно забруднену воду. Електродіаліз широко використовується для очищення промислових стоків, в тому числі для фільтрації від радіоактивних речовин.
- Відсутність реагентів. Для електродіалізу не потрібні хімічні реактиви, що здійснюють негативний вплив на навколишнє середовище.
- Впровадження установок електродіалізу дозволяє істотно знизити капітальні та поточні витрати на фільтрацію води. Економія досягається відсутністю витрат на реагенти, подальшу нейтралізацію, зниженням витрат на технічне обслуговування.

До головних недоліків електродіалізу відноситься недостатня ефективність при низькому вмісті електролітів. Це викликано значним опором води з низьким вмістом солей і необхідністю збільшувати напругу для підтримки необхідної щільності струму.

Для усунення цього недоліку існує процес електродеіонізації, аналогічний процесу електродіалізу, але в камери для очищення води

поміщають зерна іонообмінних смол (так звані іонообмінні мембрани для електродіалізу). При проходженні іонів через смоли, позитивно і негативно заряджені частинки затримуються і обмінюються на іони водню та іони гідроксильної групи.

Електродіаліз і електродеіонізація застосовуються:

- Для отримання ультрачистої і надчистої води для лабораторних досліджень і виготовлення мікроелектроніки.
- Для отримання води очищеної для фармацевтичної і хімічної промисловості.
- Для опріснення морської води.
- Для систем водопідготовки котельних і енергетичного обладнання.
- Для очищення стічних вод.

Метод сорбції ґрунтується на здатності деяких речовин поглинати різні домішки у воді.

Залежно від способу дії розрізняють:

- адсорбцію (поглинання на поверхні сорбенту);
- абсорбцію (дифузне поглинання);
- хемосорбцію (хімічну взаємодію сорбенту і домішок).

Найпопулярніші сорбенти: активоване вугілля, алюмосилікати, цеоліти і т.п. Вони особливо ефективні для усунення з води хлору, фтору, органіки, каламутності і неприємного запаху.

Метод іонного обміну є оберненою хімічною реакцією, в процесі якої іони забруднювача замінюються на нейтральні. Це найефективніший і економічний спосіб пом'якшення жорсткої води. В якості фільтруючого середовища використовуються спеціальні полімерні смоли, які замінюють іони солей кальцію і магнію на іони натрію. Використовується в фільтрах пом'якшувача води.

Аерація - це процес, при якому вода тісно контактує з повітрям і насичується киснем. Такий метод найчастіше застосовують для окислення

розчиненого у воді заліза. При цьому аерація води сприяє усуненню з неї і деяких розчинених газів, що погіршують її органолептичні властивості: сірководень, двоокис вуглецю, вуглекислота, аміак, метан і т.д. Аерація води може відбуватися двома способами:

- безнапірна аерація води - відстоювання рідини у відкритих резервуарах;
- напірна аерація - аераційні колони (вода під тиском надходить в колону, куди компресор нагнітає повітря); ежектори (змішування води з киснем в вузлі трубки Вентурі); статичні змішувачі (перемішування води з повітрям або реагентом в спеціальній трубці з лопатями).

Зворотним осмосом називають процес фільтрування рідини через напівпроникну мембрану під тиском, що перевищує осмотичний. Цей метод застосовується в установках зворотного осмосу для опріснення морської води, а також для отримання практично ідеальною, дистильованої. При зворотньому осмосі відокремлюються частинки, що не перевищують за розміром молекули розчинника. Результати очищення визначаються в залежності від типу використовуваних мембран, їх проникності, селективності, фізичної і хімічної стійкості (рис. 2.4).

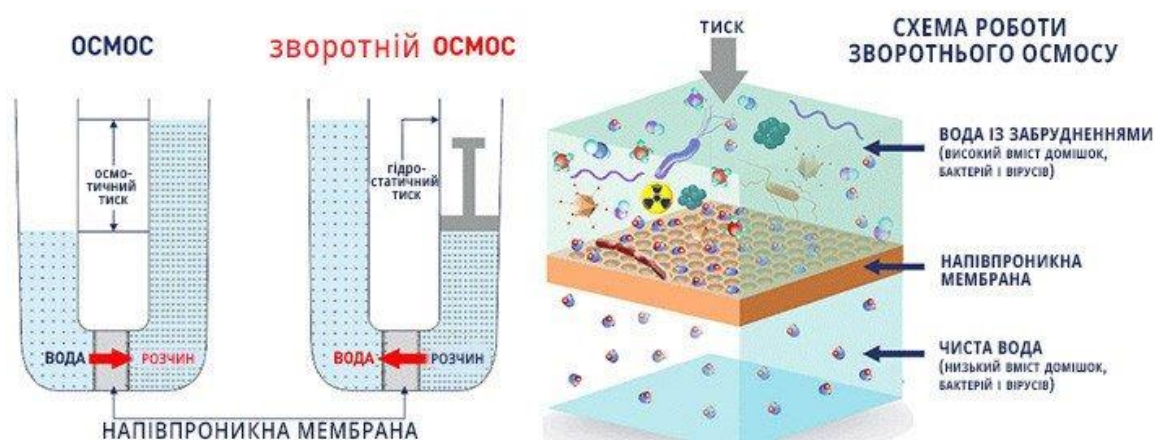


Рис. 2.4. Процес зворотнього осмосу

Термічні методи очищення води, як зрозуміло з назви, - це вплив на неї низьких або високих температур. Наприклад, дуже енергомістким процесом можна назвати випаровування, але при цьому ми можемо отримати воду високого ступеня чистоти і розчин високої концентрації з невикпаровуваними забруднювачами. У той же час зменшити концентрацію домішок допоможе і виморожування, так як раніше кристалізується тільки чиста вода, а потім і решта її маса, в якій розчинені забруднювачі. Виправним, як і виморожуванням, можна проводити кристалізацію - відокремлювати домішки, які випадають кристалічним осадом з концентрованого розчину. Є ще такий екстремальний термічний метод очищення води, як термічне окислення, коли воду, яку необхідно очистити, розпилюють і піддають впливу високотемпературних продуктів паливного згоряння. Цей спосіб застосовують, щоб нейтралізувати забруднювачі, що важко розкладаються, та є високотоксичними.

Отже, можна запевнити, що основна перевага фізико-хімічних методів очищення води - висока ступінь продуктивності. Вони можуть застосовуватися як на стадії попередньої водопідготовки, так і на фінішних етапах глибокого очищення води. На даний момент особливого поширення фізико-хімічні методи очищення води отримали за рахунок повсюдного впровадження оборотних систем водопостачання.

2.4. Біологічні способи очищення води

Як випливає з назви, методи очищення даної групи засновані на використанні живих організмів. Незважаючи на очевидність методу, біологічна очистка є найбільш передовим і перспективним напрямком в очищенні стічних вод. Для здійснення процесу очищення зазвичай використовуються бактерії різних видів, але також це можуть бути нижчі гриби і водорості, найпростіші і навіть деякі багатоклітинні, такі як червоні черви і мотиль. Однією з особливостей біологічного методу є можливість підбору певних живих організмів для оптимальної очистки стічних вод заданого хімічного складу.

Скупчення мікроорганізмів, що використовується у ході біологічного очищення, називається активним мулом, який виступає в ролі темно-коричневої або чорної рідкої маси з землистим запахом, яка у процесі відстоювання здатна осідати. За допомогою цієї властивості, активний мул можна порівняно легко відділити від води після закінчення усього процесу очищення.

Зауважимо, що мікроорганізми зазвичай знаходяться в активному мулі у складі колоній (зооглей), а не поодиночки. Залежно від складу води, що очищається і умов проведення процесу очищення, зооглеї можуть мати різну форму: кулясту, деревоподібну і т.д.

У загальному випадку всі використовувані в біоочищенні мікроорганізми можна розділити на дві значні групи, що визначають характер проведення процесу: аеробні і анаеробні. Наприклад, перші організми здатні споживати кисень, що необхідний їм для окислення речовин, у процесі харчування. У той же час анаероби не потребують жодного кисню. Для процесу очищення застосування мікроорганізмів першого чи другого типу здатне визначити безпосередньо не лише характер проведення процесу, а й необхідне для цього обладнання [11].

Біологічне очищення може проводитися в наступних умовах:

- біологічні ставки;
- поля фільтрації;
- біофільтри;
- аеротанки.

У перших двох випадках використовуються вкрай прості споруди. Біологічний ставок - це природний або штучна водойма з, як правило, природною аерацією, в якому живуть мікроорганізми активного мулу. Поле фільтрації являє собою ділянку ґрунту (пісок, глина, суглинок або торф), через який здійснюють фільтрацію води і її очищення за рахунок мікроорганізмів, що містяться в ґрунті. Споруди такого типу не здатні працювати з сильно забруднені водами при

великій витраті. У той же час вони майже не вимагають експлуатаційних витрат і постійного контролю з боку людини.

Біофільтр - це обладнання, в якому очищення води здійснюється шляхом фільтрації через шар завантажувального матеріалу, покритого шаром аеробних мікроорганізмів, який також називається біоплівки. Для забезпечення достатньої кількості кисню, необхідного організмам для біорозкладу забруднювачів, передбачається повітророзподільна система. Однак аерація може здійснюватися і природним шляхом.

Аеротанк є більш складною очисною спорудою, в якій аерація здійснюється штучним чином. Як впливає з опису, в ньому проводиться очистка аеробними мікроорганізмами. Перед подачею в аеротанк вода попередньо змішується з активним мулом. Аерація в аеротанках не тільки насичує середу киснем, стимулюючи процеси біорозкладу забруднень, але і забезпечує додаткове перемішування. Зазвичай для аерації використовується атмосферне повітря, але в разі аеротанков замість нього використовується технічний кисень, що значно збільшує ефективність процесу [12].

2.5. Загальна схема організації процесу очищення стічних вод

Перед безпосередньою подачею на очистку стічна вода потрапляє в бак, де по необхідності розбавляється чистою водою. Це робиться з метою вирівнювання концентрацій забруднюючих речовин у воді, щоб запобігти затори на стадії механічного очищення і не допустити надмірного розростання активного мулу в разі біологічної очистки. Наявність пікових навантажень на очисне обладнання обумовлюється нерівномірністю надходження стічних вод на очистку. Далі слідує стадія механічної очистки, яка може включати в себе такі апарати як пісколовки, жироловки, відстійники і решітки для уловлювання об'ємного сміття.

Після того, як вода пройшла попередню очистку, вона подається на основну очистку. У більшості випадків для цих цілей використовується

біологічна очистка в аеротенках з використанням активного мулу. Основний метод може бути доповнений глибоким очищенням, де використовуються фільтри, установки зворотного осмосу і т.д. Протягом всіх стадій з води виділяються різні речовини, що видають у вигляді осаду, які необхідно утилізувати. Для цього вони піддаються ряду операцій (віджимання, сушка і т.д.), а подальша їх доля залежить від цінності отриманого обробленого осаду. Також обробці піддається надлишок активного мулу, що виводиться з циклу роботи аеротенках, який потім використовується як кормова добавка. Очищену до необхідного стану воду потім знезаражують хлоруванням, озонуванням або обробкою УФ випромінюванням (рис. 2.5) [13].

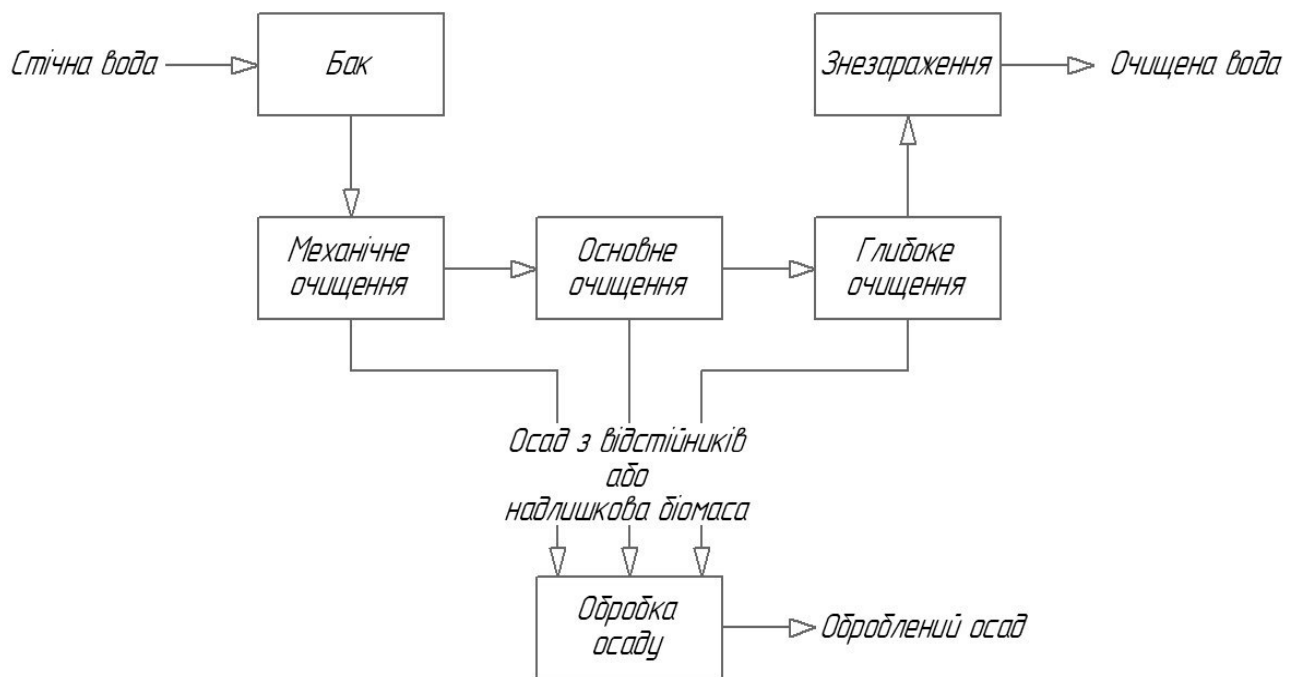


Рис. 2.5. Загальна схема організації процесу очищення води

2.6. Вимоги до питної води та стандарти якості

Якість води для промисловості і сільського господарства регламентується великою кількістю різних не лише державних, а й галузевих документів. Завдання досягнення належних показників якості води постає перед

промисловими та сільськогосподарськими підприємствами, які, відповідно, використовують для цього різні технології.

Якісна та безпечна для споживання питна вода має відповідати усім критеріям якості міжнародних та національних нормативних документів. Наприклад, в Україні якість питної води регламентується державними санітарними нормами та правилами 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». Даний документ містить 83 показники, з яких 64 – хімічні та органолептичні, 11 - мікробіологічні, 8 - радіоактивні) [9].

Варто звернути увагу на те, що вітчизняні стандарти якості води майже не відрізняються від відповідних стандартів США чи нормативів ВООЗ. Наприклад, останні містять ГДК для 99 різних речовин, а у стандартах США регламентується 87 показників якості води (53 органолептичних показників, 16 неорганічних та 7 мікробіологічних). Розглянувши нормативи ЄС, було з'ясовано, що вони включають лише 49 показників.

Зауважимо, що кількість контрольованих показників постійно зростає, а їх значення - орієнтовані на постійне зниження. Це пов'язано насамперед із розвитком приборної аналітичної хімії, яка дозволила знаходити у воді значно менші концентрації забруднюючих речовин. Не останню роль в цьому відіграють також результати токсико-хімічних досліджень впливу різноманітних домішок на організм людини. Для прикладу: згідно вимог ВООЗ, що ґрунтуються саме на такому дослідженні, норматив вмісту арсену у питній воді знижено з 50 до 10 мкг/дм³ у 2015 р.

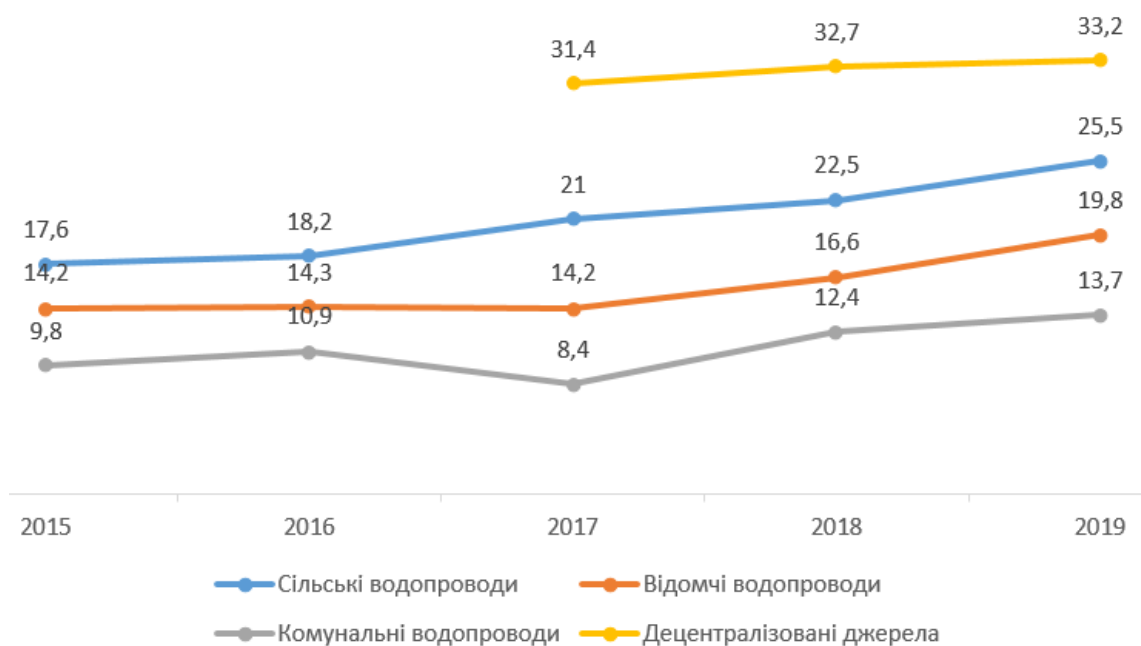


Рис. 2.6. Динаміка росту частки нестандартних проб питної води за санітарно-хімічними показниками (тис. разів) у 2015-2019 рр.

Варто зауважити, що якість питної води має постійно контролюватися на станціях підготовки. Для прикладу, у Києві за 22 показниками проводиться контроль якості води щодня, за 48 – щомісяця, і за всіма – щорічно. Більша частина води, відібрана з різних джерел, проходить через централізоване очищення та врешті-решт доставляється споживачеві. Всього існує три види централізованих систем водопостачання: комунальне, сільськогосподарське та відомче. Важливо розуміти, що відповідність показників якості води потребам ДСанПіНа контролюється Державною службою України з питань безпеки харчових продуктів та захисту споживачів.

Цікавим фактом є те, що лише 31% населених пунктів або ж 75,6% населення забезпечено централізованим водопостачанням в Україні. У той же час, інші жителі використовують воду із таких децентралізованих джерел, як колодязі, каптажі або свердловини. Основною проблемою даної ситуації є те, що якість більше 30% проб вказаних джерел не відповідають нормам за санітарно-хімічними показниками і більше ніж 20% - по бактеріологічними (рис.2.6).

Висновки до розділу

Різноманітність забруднювачів породжує не меншу різноманітність способів очищення води від них, однак, їх все можна розділити на групи за принципом дії. Найбільш популярними методами очищення води є фізичні, хімічні, фізико-хімічні та біологічні.

В основі роботи фізичних способів очищення води лежать різні фізичні явища, які використовуються для впливу на воду. У процесі очищення води дані способи застосовуються для видалення великих твердих часток і виступають в ролі попередньої стадії грубої очистки. Хімічні методи очищення засновані на хімічній взаємодії певних речовин з забруднювачами, в результаті чого другі або розкладаються на безпечні компоненти, або переходять в інший стан.

Фізико-хімічні методи очищення води з'єднують водночас в собі і хімічний, і фізичний вплив на забрудники води. Основна перевага фізико-хімічних методів очищення води - висока ступінь продуктивності. Вони можуть застосовуватися як на стадії попередньої водопідготовки, так і на фінішних етапах глибокого очищення води. Біологічна очистка є найбільш передовим і перспективним напрямком в очищенні стічних вод. Для здійснення процесу очищення зазвичай використовуються бактерії різних видів, але також це можуть бути нижчі гриби і водорості, найпростіші і навіть деякі багатоклітинні.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНА ПРОПОЗИЦІЯ ПО ОЧИЩЕННЮ ВОДИ

Найбільш важливим, з точки зору життєдіяльності людини, безсумнівно, є процес знезараження стічних вод, питної води і рідких технологічних середовищ, з якими безпосередньо контактує людина.

Проблема знезаражування рідких середовищ не нова. Традиційно проблему вирішують шляхом застосування реагентних способів, які базуються на застосуванні сильних окислювачів, таких як хлор, озон, або насичуючи рідину іонами благородних і кольорових металів, що володіють бактерицидними властивостями.

Розрізняють наступні способи знезараження рідких середовищ:

1. хлорування;
2. озонування;
3. сріблення;
4. термічне очищення;
5. УФ опромінення.

Основними перевагами та недоліками даних методів є:

- високий ступінь небезпеки процесу знезараження;
- необхідність контролю дозування реагенту;
- залежність ефективності і активації від хіміко-фізичного складу рідини;
- наявність побічних продуктів хімічних реакцій, що виникають в процесі знезараження;
- залишкові речовини накопичуються в організмі людини;
- великі енерговитрати термічного способу знезараження при порівняно малій продуктивності процесу;

- застосування низьких температур можна використовувати тільки як спосіб продовження терміну зберігання початково чистої води;
- висока залежність ефективності застосування УФ-опромінення від прозорості рідини і кількості механічних забруднень;
- бактерицидна дію УФ-променів ефективно на малій відстані.

Ультразвукова кавітація – ще один метод знезараження води – на відміну від інших, не володіє перерахованими недоліками та потенційно може бути використовуватися на практиці для знезараження великих обсягів рідин.

3.1. Розробка системи для ультразвукового кавітаційного очищення води

У ході дослідження було розроблено ультразвукову кавітаційну установку з наступними параметрами: потужність – 800 В, частота коливань – 22,4 кГц, продуктивність – до 50 л/хв, тиск рідини – до 1,0 МПа, напруга живлення – 50 Гц (рис. 3.1), яка застосовується на практиці, задля експериментального числового знаходження ефективності використання ультразвукового кавітатційного обладнання для фільтрації рідин у різних технологічних процесах.

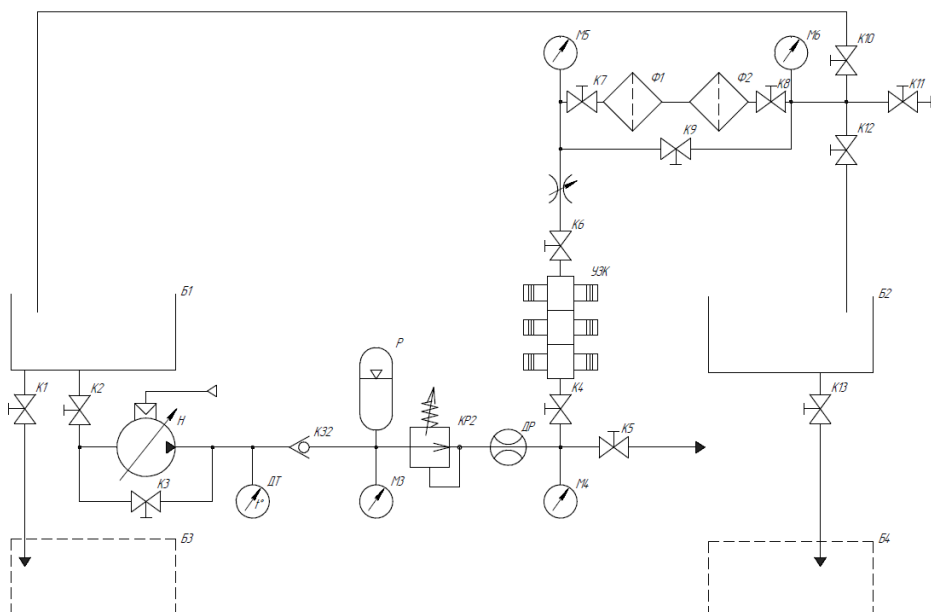


Рис 3.1. Схема ультразвукової кавітаційної установки

3.2. Принцип роботи системи

Перед запуском системи необхідно перевірити наявність рідини в баці Б1, тиск повітря в системі живлення насоса та підключення до живлення збуджувача частотного перетворювача, і вимірювальної апаратури, перекриті крани К1, К3, К11 та К13. Якщо всі допуски виконані, можна починати роботу системи.

Дана система для ультразвукового кавітаційного очищення води працює двома різними контурами: замкнений і незамкнений.

Послідовність роботи при замкнутому контурі: рідина з баку Б1 по трубопроводах та кран К2 протікає до мембранного насоса Н, далі через зворотній клапан ЗК проходить до редукційного клапана КР2, потім через дросель і кран К4 потрапляє в трьохсекційний ультразвуковий кавітатор УЗК. Після прямує через крани К6 і К7, подвійний фільтр Ф2, Ф3 та кран К8 і К10, при цьому кран К12 знаходиться у зачиненому положенні, надходить назад в бак Б1, звідки знову проходить описаний шлях.

Послідовність роботи при незамкнутому контурі: рідина з баку Б1 по трубопроводах, кран К2 протікає до мембранного насоса Н, далі через зворотній клапан ЗК проходить до редукційного клапана КР2, потім через дросель і кран К4 потрапляє в трьохсекційний ультразвуковий кавітатор УЗК. Після прямує через крани К6 і К7 у подвійний фільтр Ф2, Ф3 та кран К8 і К12, кран К10 закритий, витікає у бак Б2, триває даний процес доти, поки вся рідина з баку Б1 не перекачається у бак Б2.

Щоб повернути систему в початковий стан після спрацювання незамкненого контуру необхідно відкрити кран К13, щоб рідина з баку Б2 злилася в резервний бак Б4. Потім вручну перелити рідину з бак Б4 в бак Б1.

Якщо дослідна робота закінчилася необхідно всю рідину з стенда та баків злити в каналізаційну систему.

Висновки до розділу

Було доведено, що процес знезараження стічних вод, питної води і рідких технологічних середовищ, з якими безпосередньо контактує людина, є найбільш важливим, з точки зору життєдіяльності людини.

Окрім цього, з'ясовано, що ультразвукова кавітація – це один із методів знезараження води, що потенційно може бути використовуватися на практиці для знезараження великих обсягів рідин.

У ході дослідження було розроблено ультразвукову кавітаційну установку з наступними параметрами: потужність – 800 В, частота коливань – 22,4 кГц, продуктивність – до 50 л/хв, тиск рідини – до 1,0 МПа, напруга живлення – 50 Гц, яка застосовується на практиці, задля експериментального числового знаходження ефективності використання ультразвукового кавітативного обладнання для фільтрації рідин у різних технологічних процесах.

Також здійснено опис принципу роботи системи в різних режимах.

РОЗДІЛ 4. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАВІТАЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

Враховуючи технічні характеристики експериментальної установки:

- Робоча частота – $22,5 \pm 5\%$, КГц;
- Продуктивність – до 50 л/хв;
- Тиск рідини – до 1,0 Мпа;
- Споживана потужність - $1200 \pm 20\%$ Вт;
- напруга живлення - $220 \pm 10\%$ В (50 Гц).

Приймемо до гідравлічного розрахунку системи для ультразвукової кавітаційної очистки води. Дані обчислення необхідні для підбору обладнання, наявного на гідравлічній схемі даної системи.

4.1. Гідравлічний розрахунок і вибір розмірів трубопроводів

Знаходження діаметрів трубопроводів та втрат тиску, які виникають у них при переміщенні робочої рідини (рр) – головна задача розрахунку.

Важливо зауважити те, що розрахунок здійснюється по ділянках, які мають однакову витрату. Усі наведені нижче формули будуть взяті з методичних вказівок до курсового проекту за курсом “ПРОЕКТУВАННЯ ОБ’ЄМНИХ ГІДРОПРОВОДІВ” для студентів з фаху “ГІДРАВЛІЧІ І ПНЕВМАТИЧНІ МАШИНИ” [15].

Внутрішній діаметр труби:

$$d_T = \sqrt{4Q_D / \pi v_{cp}}, \quad (4.1)$$

де Q_D - витрата рідини на ділянці, що розраховується; v_{cp} - середня швидкість рідини.

Отримане значення округлюють до найближчого по ДЕРЖСТАНДАРТУ 8732-78 і ДЕРЖСТАНДАРТУ 8734-75.

За прийнятим діаметром розраховується дійсна швидкість рідини, м/с:

$$v_{cp} = \frac{4 \cdot Q_T}{\pi \cdot d_T^2}. \quad (4.2)$$

Вибирають середню швидкість рідини в залежності від призначення трубопровода:

- для всмоктувальних $v = 0.5 \dots 1.5 \text{ м/с}$;
- для зливних $v = 1.4 \dots 2.2 \text{ м/с}$;
- для напірних $v = 3 \dots 6 \text{ м/с}$.

Сумарні гідравлічні втрати в складаються з втрат на гідравлічне тертя Δp_T , втрат у місцевих опорах Δp_M і втрат у гідроапаратах Δp_G .

Втрати тиску на тертя:

$$\Delta p_T = (0.5 \lambda l \rho v^2) / d_T, \quad (4.3)$$

де λ - коефіцієнт тертя; l - довжина ділянки; ρ - щільність рідини; v - дійсна середня швидкість рідини; d_T - діаметр труби або шланга.

Коефіцієнт тертя λ визначається по числу Рейнольдса і залежить від режиму течії рідини:

$$\text{Re} = v d_T / \nu, \quad (4.4)$$

де ν - кінематична в'язкість рідини.

При ламінарній течії рідини ($\text{Re} \leq 2300$), враховуючи можливості звуження і викривлення перерізу труби при практичних розрахунках приймають:

$$\lambda = 75 / \text{Re} . \quad (4.5)$$

При турбулентній течії ($\text{Re} \geq 2300$) коефіцієнт тертя λ залежить від числа Рейнольда і від шорсткості стінок каналу. Сталеві труби мають шорсткість $\Delta = 0.03 \text{ мм}$, труби з кольорових металів вважають практично гладкими.

$$\lambda = \frac{0.316}{\sqrt[4]{\text{Re}}} . \quad (4.6)$$

При $\text{Re} \geq 10^5$ коефіцієнт тертя практично не залежить від Re і можна прийняти $\lambda = 0.02$.

Втрати на місцевих опорах визначимо за формулою:

$$\Delta p_M = 0.5 \rho \xi v^2 , \quad (4.7)$$

де ξ - коефіцієнт місцевого опору.

При послідовному з'єднанні загальні втрати тиску являють собою суму втрат тиску на всіх ділянках:

$$\Delta p_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{ni} \Delta p_i . \quad (4.8)$$

Розрахунок місцевих втрат на апаратах:

$$\Delta p_{GA} = \Delta p_H \cdot \left(\frac{Q_D}{Q_H} \right)^2 , \quad (4.9)$$

де Δp_H - втрата тиску на апараті при номінальній витраті (дані беруться з технічного паспорту відповідного елемента); Q_H - номінальна витрата рр.

Для розрахунку втрат по довжині розділимо трубопроводи системи на відрізки заданої величини (рис. 4.1).

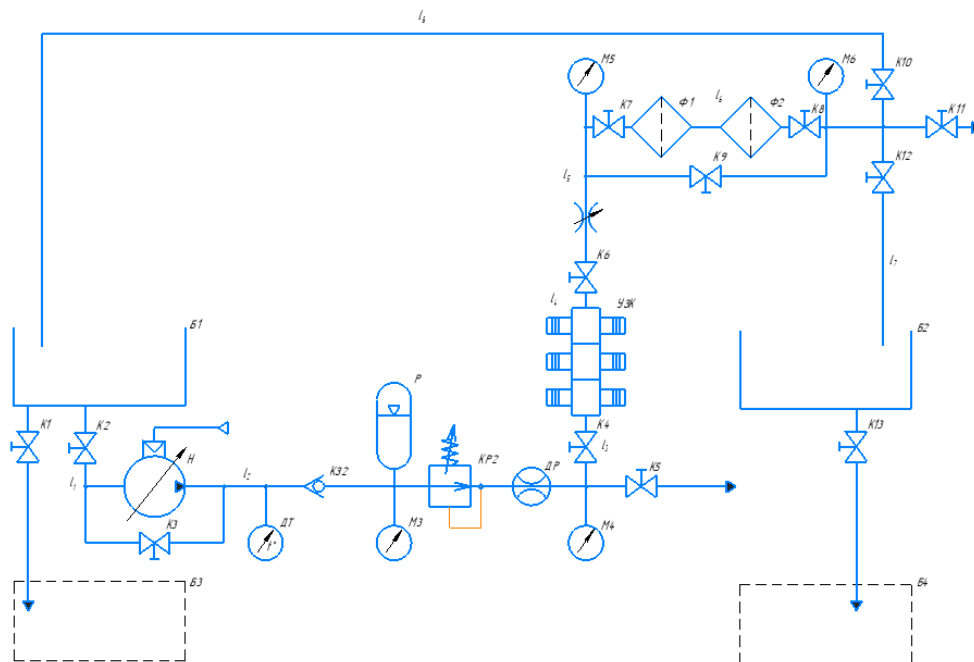


Рис.4.1 Розподіл гідросхеми на відрізки

Напірна лінія:

$$d_{Tn} = \sqrt{4 \cdot 0.00083 / \pi \cdot 3.5} = 0.0173 \text{ м} = 17.3 \text{ мм}.$$

Приймаємо $d_{Tn} = 20 \text{ мм}$

$$v_{срн} = \frac{4 \cdot 0.00083}{\pi \cdot 0.02^2} = 2.6 \text{ м / с};$$

$$Re_{\text{н}} = 2.6 \cdot 0.02 / 1.02 \cdot 10^{-6} = 50980;$$

$$\lambda_{\text{н}} = 0.316 / \sqrt[4]{50980} = 0.02;$$

$$\Delta p_1 = 0.5 \cdot 0.02 \cdot 0.2 \cdot 997 \cdot 2.6^2 / 0.02 = 673 \text{ Па};$$

$$\Delta p_2 = 0.5 \cdot 0.02 \cdot 0.7 \cdot 997 \cdot 2.6^2 / 0.02 = 2358 \text{ Па};$$

$$\Delta p_3 = 0.5 \cdot 0.02 \cdot 0.35 \cdot 997 \cdot 2.6^2 / 0.016 = 1474 \text{ Па};$$

$$\Delta p_4 = 0.5 \cdot 0.02 \cdot 0.35 \cdot 997 \cdot 2.6^2 / 0.016 = 1474 \text{ Па};$$

$$\Delta p_5 = 0.5 \cdot 0.02 \cdot 0.8 \cdot 997 \cdot 2.6^2 / 0.02 = 2695 \text{ Па};$$

$$\Delta p_6 = 0.5 \cdot 0.02 \cdot 0.7 \cdot 997 \cdot 2.6^2 / 0.02 = 2358 \text{ Па};$$

$$\Delta p_7 = 0.5 \cdot 0.02 \cdot 0.6 \cdot 997 \cdot 2.6^2 / 0.02 = 2021 \text{ Па};$$

$$\Delta p_8 = 0.5 \cdot 0.02 \cdot 3 \cdot 997 \cdot 2.6^2 / 0.02 = 10109 \text{ Па}.$$

Діаметр всмоктувальної гідролінії приймаємо рівний нагнітальній.

Отримані дані занесемо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Втрати на тертя

Ділянка	Довжина $l, \text{м}$	$d_T, \text{мм}$	$Q, \text{л/хв}$	$v, \text{м/с}$	Re	λ	$\Delta p, \text{Па}$
Всмокування	0.2	20	50	2.6	50980	0.02	673

Нагнітання (контур1)	3.7	20	50	2.6	50980	0.02	13053
Нагнітання (контур 2)	6.1	20	50	2.6	50980	0.02	21141

Проведемо розрахунки втрат на місцевих опорах.

Розташовані в нагнітальній лінії:

1. Звуження

$$\Delta p_{нзв} = 0.5 \cdot 997 \cdot 0.5 \cdot 2.6^2 = 1685 \text{ Па} .$$

2. Коліно

$$\Delta p_{нк} = 0.5 \cdot 997 \cdot 0.12 \cdot 2.6^2 = 404 \text{ Па} .$$

3. Трійник

$$\Delta p_{нт} = 0.5 \cdot 997 \cdot 2 \cdot 2.6^2 = 6739 \text{ Па} .$$

4. Розширення

$$\Delta p_{нр} = 0.5 \cdot 997 \cdot 0.5 \cdot 2.6^2 = 1685 \text{ Па}$$

Наступним кроком проведемо розрахунки втрат тиску на гідроапаратах:

1. Дросель

$$\Delta p_{кзв} = 0.5 \cdot 997 \cdot 2 \cdot 2.6^2 = 6740 \text{ Па} .$$

2. Зворотній клапан

$$\Delta p_{\kappa 38} = 0.5 \cdot 997 \cdot 2 \cdot 2.6^2 = 6740 \text{ Па}.$$

3. Клапан редукційний

$$\Delta p_{\kappa p} = 10000 \cdot \left(\frac{0.00083}{0.00111} \right)^2 = 5591 \text{ Па}.$$

4. Фільтр проточний

$$\Delta p_{\phi} = 10000 \cdot \left(\frac{0.00083}{0.00116} \right)^2 = 5120 \text{ Па}.$$

Систематизуємо всі отримані дані та визначимо при якій ділянці руху рідини в системі відбуваються найбільші сумарні втрати тиску по довжині, на місцевих опорах та на гідроапаратах.

- нагнітання (контур 1) (рис. 4.2)

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta p_{\text{нн}} &= 673 + 13053 + 1685 + 1685 + 6 \cdot 404 + 7 \cdot 6739 + \\ &+ 6740 + 5591 + 2 \cdot 6740 + 5120 = 97624 \text{ Па}. \end{aligned}$$

- нагнітання (контур 2) (рис. 4.3)

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta p_{\text{нц}} &= 673 + 21141 + 1685 + 1685 + 8 \cdot 404 + 7 \cdot 6739 + 6740 + \\ &+ 5591 + 2 \cdot 6740 + 5120 = 106520 \text{ Па}. \end{aligned}$$

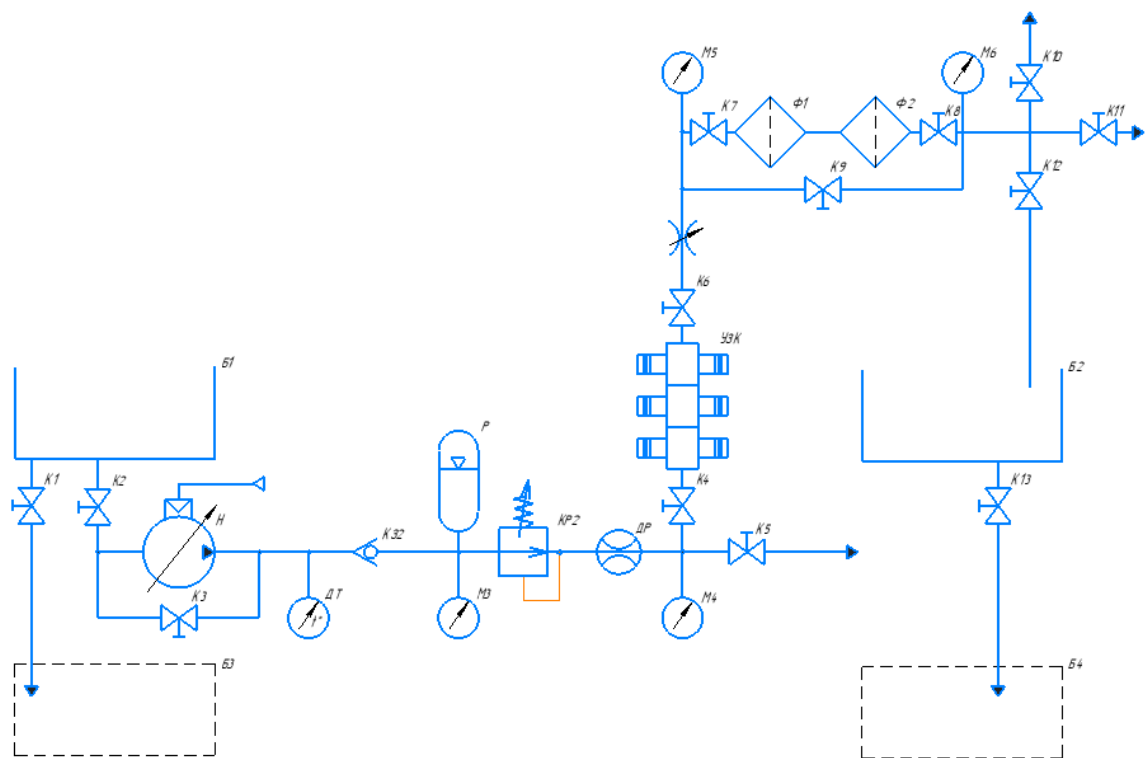


Рис. 4.2. Контур 1

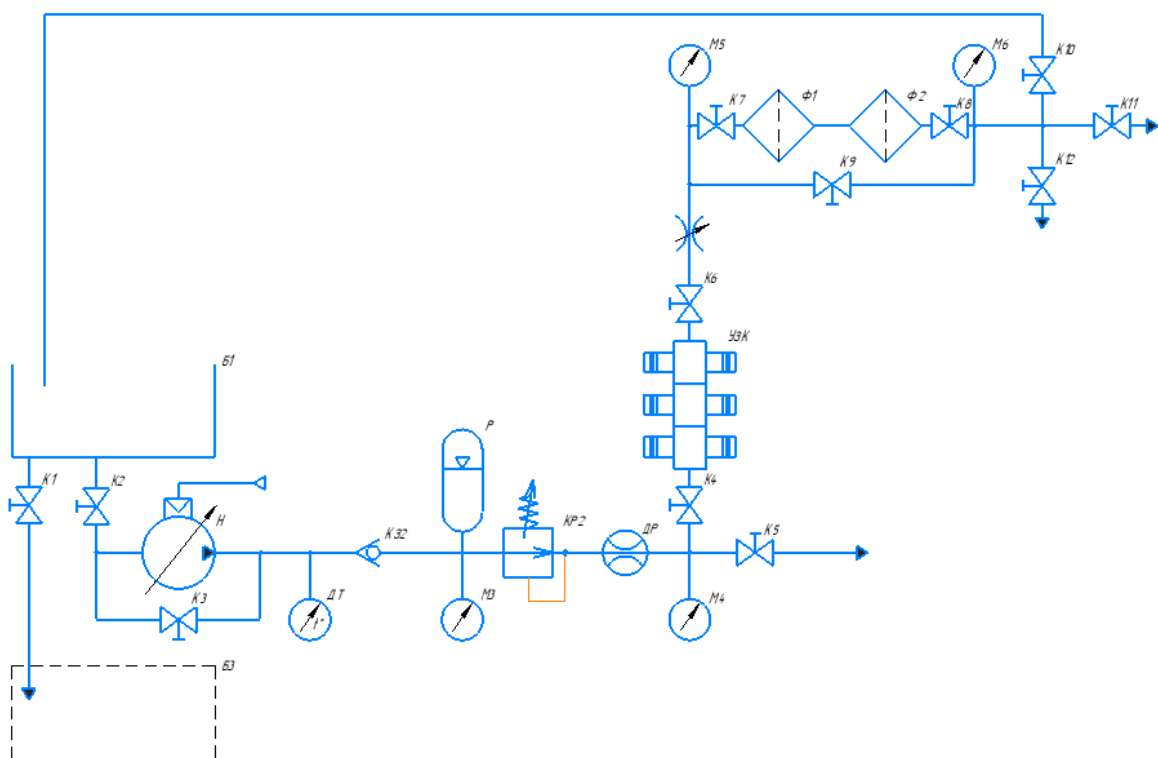


Рис. 4.3. Контур 2

Проаналізувавши отримані розрахунками дані можна сказати, що найбільшу сумарну втрату маємо при русі рідини по другому контурі у системі

для ультразвукового кавітаційного очищення рідини. Тому потрібно забезпечити необхідний рівень тиску у системі за допомогою насоса, максимальна віддача якого буде становити не менше:

$$p_H > \Sigma \Delta p_{\text{нп}};$$

$$p_H > 106520 \text{ Па} \approx 0.1 \text{ МПа}.$$

4.2 Підбір гідравлічного обладнання

Враховуючи всі попередні розрахунки, для даної системи здійснимо підбір гідроапаратури.

Насос мембранний пневматичної дії SEKO Dutek AF 000050 [16], зовнішній вигляд якого зображено на рис.4.4, а технічні характеристики сформовано до таблиці 4.2.



Рис. 4.4. Зовнішній вигляд насоса

Таблиця 4.2

Технічні характеристики

Характеристика		Значення
Приєднання	всмоктування	$\frac{3}{4}$ "
	нагнітання	$\frac{3}{4}$ "
Витрата, л/хв		8 ... 1050
Тиск, бар		8
Матеріал виконання		Поліпропілен, нержавіюча сталь SS 316, алюміній

Бак EURO PLAST RG 100 [17], зовнішній вигляд якого зображено на рис. 4.5, а технічні характеристики сформовано до таблиці 4.3.



Рис.4.5. Зовнішній вигляд бака

Таблиця 4.3

Технічні характеристики

Характеристика	Значення
Приєднання	$\frac{3}{4}$ ''
Вид бака	Горизонтальний
Об'єм, л	100
Матеріал	Пластик
Вага, кг	5.3

Дросель FRFU90 [18], зовнішній вигляд зображено на рис.4.6, а технічні характеристики сформовано до таблиці 4.4.



Рис.4.6. Зовнішній вигляд дроселя

Таблиця 4.4

Технічні характеристики

Характеристика	Значення
Приєднання	$\frac{3}{4}$ ''
Максимальний тиск, бар	15
Максимальна витрата, л/хв	100
Робоча температура, °C	-40...+70

Датчик температури GWSS [19], зовнішній вигляд якого зображено на рис. 4.7, а технічні характеристики сформовано до таблиці 4.5.



Рис. 4.7. Зовнішній вигляд датчика температури

Таблиця 4.5

Технічні характеристики

Характеристика	Значення
Приєднання	$\frac{3}{4}''$
Матеріал	Нержавіюча сталь (1Cr18Ni9Ti)
Діапазон температури, °C	0...120

Клапан редукційний гідравлічний Goetze 681 SP [20], зовнішній вигляд зображено на рис. 4.8, а технічні характеристики сформовано до таблиці 4.6.



Рис. 4.8. Зовнішній вигляд редукційного клапана

Таблиця 4.6

Технічні характеристики

Характеристика		Значення
Приєднання, мм		$\frac{3}{4}''$
Витрата, л/хв	мінімальна	1
	максимальна	100
Тиск, бар	мінімальний	1
	максимальний	8
Максимальна температура, °C		120

Витратомір FMT Swiss AG [21], зовнішній вигляд якого зображено на рис. 4.9, а технічні характеристики сформовано до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7

Технічні характеристики

Характеристика	Значення
Приєднання	$\frac{3}{4}''$
Максимальний тиск, бар	28



Рис. 4.9. Зовнішній вигляд витратоміра

Манометр гідравлічний YTN-60 [22], зовнішній вигляд зображено на рис.3.10, а технічні характеристики сформовано до таблиці 4.8.



Рис. 4.10. Зовнішній вигляд манометра

Таблиця 4.8

Технічні характеристики

Характеристика	Значення
Діаметр корпусу, мм	63
Приєднання	$\frac{3}{4}$ "
Максимальний тиск, бар	10
Матеріал корпусу	Нержавіюча сталь

Фільтр проточний Atlas Filtri 10 DP DUO [23], зовнішній вигляд якого показано на рис. 4.11, а технічні характеристики сформовано до таблиці 4.9.



Рис. 4.11. Зовнішній вигляд фільтра

Таблиця 4.9

Технічні характеристики

Характеристика	Значення
Приєднання	$\frac{3}{4}$ "
Максимальний тиск, бар	8
Робоча температура, °C	+5...+55

Кран шаровий FADO [24], зовнішній вигляд показано на рис.4.12, а технічні характеристики сформовано до таблиці 4.10.



Рис. 4.12. Зовнішній вигляд крана

Таблиця 4.10

Технічні характеристики

Характеристика	Значення
Приєднання	$\frac{3}{4}$ "
Хід контакта, °	0...90
Типорозмір	20
Робоча температура рідини, °C	-30...+100
Матеріал	Поліпропілен

Клапан зворотній гідравлічний ІТАР "Еуропа" [25], зовнішній вигляд показано на рис. 4.13, а технічні характеристики сформовано до таблиці 4.11.



Рис. 4.13. Зовнішній вигляд пристрою

Таблиця 4.11

Технічні характеристики

Характеристика	Значення
Приєднання	$\frac{3}{4}''$
Максимальний тиск, бар	10
Максимальна температура, °C	+95
Матеріал корпусу	Поліпропілен

Висновки до розділу

Враховуючи технічні характеристики експериментальної установки та розробленої нами гідравлічної схеми, були проведені гідравлічні розрахунки системи для ультразвукової кавітаційної очистки води. Дані обчислення необхідні для підбору обладнання, наявного на гідравлічній схемі даної системи.

На основі даних обчислень було здійснено підбір основного обладнання для гідравлічної системи.

РОЗДІЛ 5. УЛЬТРАЗВУКОВИЙ КАВІТАТОР. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ

Кавітаційна обробка рідини сприяє її активації, змінює її фізико-хімічні властивості, інтенсифікує хіміко-технологічні процеси. Для посилення кавітаційного впливу на рідину, необхідно здійснити комплексний багатofакторний вплив на неї. Для цих цілей використовуються гідродинамічні, електродинамічні, п'єзoeлектричні, магнітострикційні генератори кавітації.

5.1. Пристрої для кавітаційної обробки рідини

В ультразвуковому діапазоні найбільш поширені п'єзoeлектричні та магнітострикційні генератори кавітації (рис. 5.1.). У цих електроакустичних перетворювачах використовується прямий магнітострикційний і п'єзoeлектричний ефект в змінних магнітних і електричних полях. Діапазон частот збудження перетворювачів є дуже широким (від 8 кГц до 44 кГц і вище). Ультразвукові коливання від генераторів передаються до речовин через спеціальні трансформуючі і погоджуючі пристрої (концентратори, пластини та ін.), що закінчуються випромінюючою поверхнею [26].



Рис. 5.1. П'єзоелектричні генератори кавітації

Принцип дії імпульсного електророзрядного випромінювача заснований на електрогідравлічному ефекті, що полягає в генерації ударних хвиль в рідині при її пробію (рис. 5.2). Перебіг електричного розряду в рідині (електрогідравлічного удару) викликає складний комплекс явищ: іонізацію і розкладання молекул в плазмі каналу і біля нього, світлове випромінювання каналу розряду, ударні хвилі, інтенсивне ультразвукове випромінювання, пульсацію газового міхура, кавітаційні процеси, імпульсні магнітні поля [26].



Рис. 5.2. Імпульсний електророзрядний випромінювач

У гідродинамічних кавітаторах (рис.5.3) типу роторних імпульсних апаратів, в основному, реалізується гідродинамічний вплив за рахунок розвиненої турбулентності, пульсацій тиску і швидкості потоку рідини, інтенсивної кавітації, ударних хвиль і вторинних нелінійних акустичних ефектів.

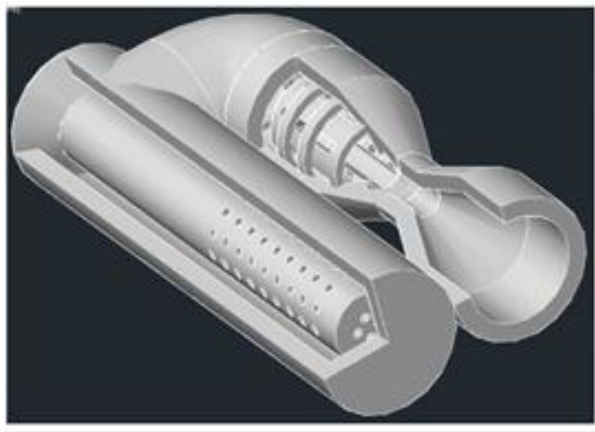


Рис. 5.3. Гідродинамічний кавітатор

У резонансних гідродинамічних генераторах використовується збудження коливань резонуючих елементів у вигляді пластин, стрижнів або мембран набігаючим струменем рідини. Коливання резонуючих елементів створюють акустичне поле випромінювача. Найбільш поширеною модифікацією таких випромінювачів є пластинчасті випромінювачі з консольним або двохточковим кріпленням віброуючої пластини. Струмінь, що впливає з великою швидкістю з конусно-циліндричного або щілинного сопла, потрапляє на пластину з клиноподібним краєм. При цьому відбувається зрив струменя, і виникають вихрові пульсації. При збігу частоти пульсації з власною резонансною частотою пластини від неї в рідину виходить акустична хвиля. Оптимального режиму роботи домагаються експериментальною підгонкою розмірів резонуючих елементів, регулюванням відстані між соплом і відбивачем, і швидкості витікання струменя. Їх основним недоліком є досить швидкий вихід з ладу резонуючих елементів в результаті дії динамічних навантажень, порівнянних з межею втомної міцності матеріалу [26].

Аналогічний принцип перетворення кінетичної енергії струменя в енергію акустичних коливань використовують в багатостержневих гідродинамічних випромінювачах. Струмінь круглого перетину, що впливає з сопла, вдаряється в лункообразний відбивач і віялоподібно розходить, потрапляючи на загострені виступи стрижнів, що закріплені по твірній циліндра паралельно осі сопла. Відбувається порушення коливань стрижнів, які створюють в навколишньому середовищі досить потужне звукове поле. При

використанні конусно-циліндричного сопла і відбивача з лункою, близькою за формою до параболоїда, при обертанні між торцями сопла і відбивача формується пульсуюча кавітаційна область, яка визначає параметри акустичного поля.

Суперкавітуючі (СК) гідродинамічні апарати за принципом роботи можна розділити на динамічні - з обертовими (рухомими) робочими органами, в основному лопатевими; статичні - з нерухомими робочими органами; струменеві - зі струминними кавітаторами; комбіновані - складаються з різних комбінацій перших трьох типів [26].

До динамічних СК-апаратів можна віднести наступні [26]:

- СК-насоси, що використовуються для перекачування і одночасної обробки рідких середовищ;
- СК-турбіни, що застосовуються для кавітаційної обробки рідких середовищ в трубопроводах за рахунок використання енергії технологічних потоків;
- СК-змішувачі, що використовуються для кавітаційно-кумулятивної обробки рідин в обсязі апарату. Робочі органи СК-змішувачів подібні колесам СК-насосів.

До статичних СК-апаратів відносяться [26]:

- СК-статичні змішувачі, нерухомо встановлюються в трубопроводах або циркуляційних контурах та використовують енергію технологічних потоків. Конструкція їх робочих органів близька до конструкції коліс осьових СК-насосів;
- СК-апарати з осесиметричними кавітаторами у вигляді дисків, конусів, різних тіл обертання і т.д. Робочі органи таких апаратів встановлюються в спеціально спрофільованих проточних ділянках.

Поєднання кавітаційних генераторів різного типу може посилити ефект кавітації. Сприятливо позначається генерування коливань з різними частотами, що відрізняються один від одного на порядок і вище.

Розглянувши всі типи кавітаторів, “плюси” та “мінуси” кожного з них, ми вирішили, у нашій системі, використати п’єзоелектричні генератори кавітації, оскільки вони мають порівняно невеликі набарити при достатній потужності та мають доволі широкий діапазон частот збудження перетворювачі, що буде доцільно для використання згідно технічним характеристикам.

5.2. Методика розрахунку кавітаційної камери

Поздовжній розмір циліндричної кавітаційної камери згідно розрахункової схеми (рис. 5.4) повинен вміщувати парну кількість чвертей довжини хвилі деформації, що встановлюється по довжині камери. Причому на торцях циліндричної камери, де будуть розміщені торцеві кришки, повинні бути вузли хвилі деформації, що встановилася [27].

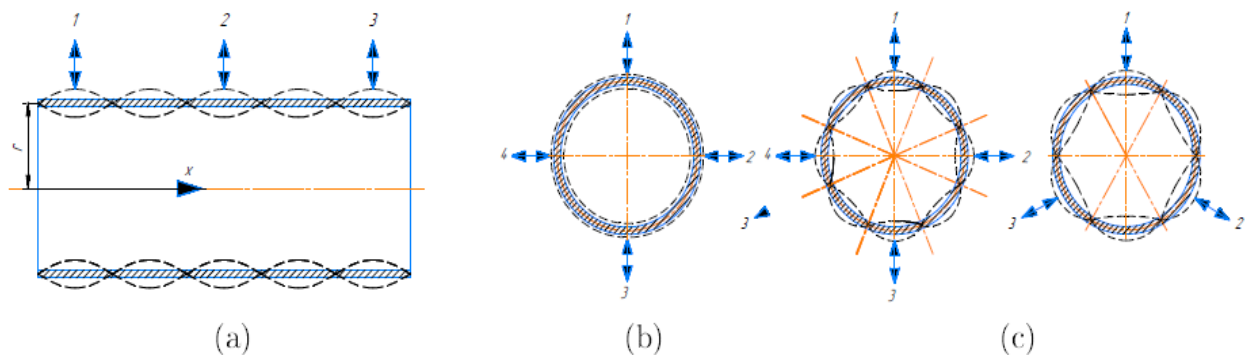


Рис. 5.4. Розрахункова акустична схема кавітаційної камери фільтру (а – схема збудження згинальних коливань по довжині корпусу; б – схема збудження циліндричного корпусу на радіальній моді коливань (рис. 5.5); в – схеми збудження радіально – згинальних коливань з парною та непарною кількістю п’єзоелектричних приводів – випромінювачів, що збуджуються синхронно (рис. 5.6)

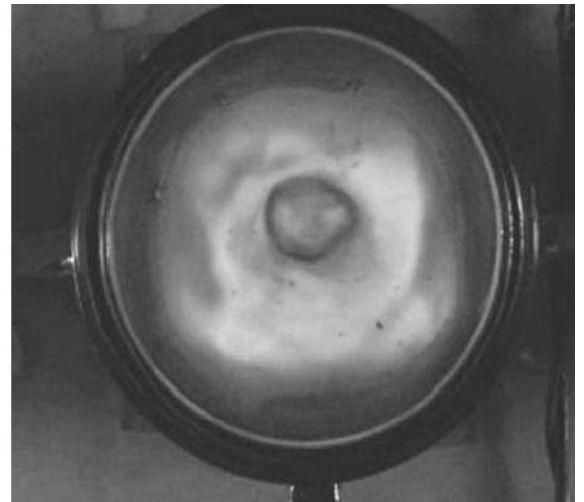
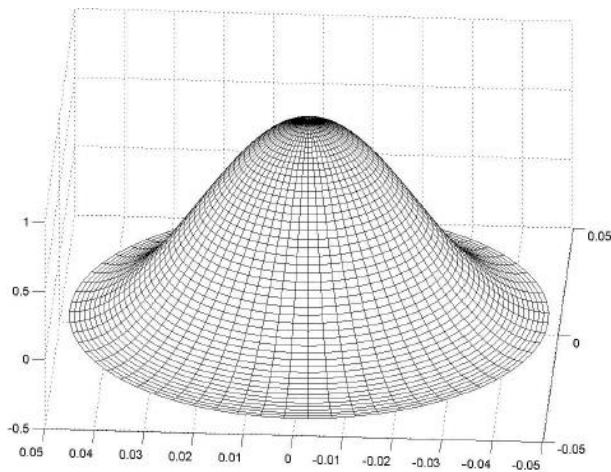


Рис. 5.5. Форма ультразвукового поля в циліндричній камері у випадку збудження радіальної моди коливань поверхні

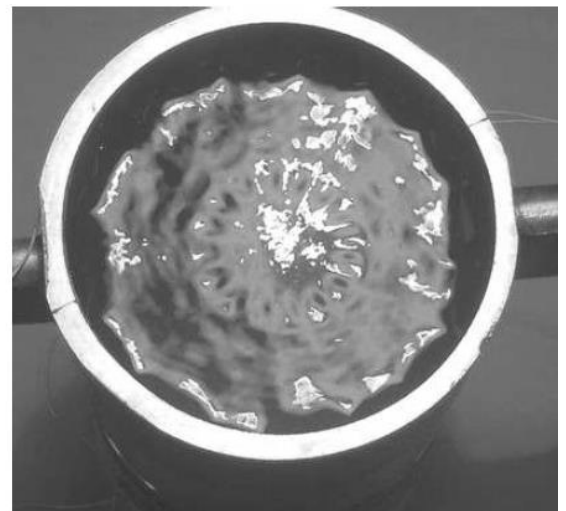
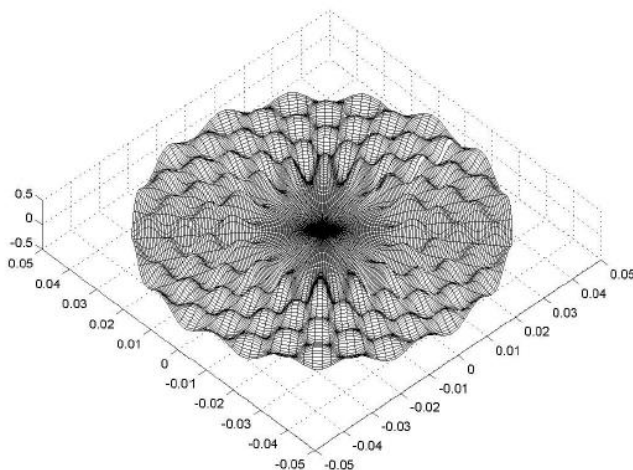


Рис. 5.6. Форма ультразвукового поля в циліндричній камері у випадку збудження радіально-згинальних коливань поверхні

Для розрахунку довжини поздовжньої пружної хвилі деформації, тобто відстані між окремими групами п'єзоелектричних приводів-випромінювачів, що збуджуються синхронно, скористаємося циліндричною системою координат. Будемо вважати, що вісь X співпадає з віссю циліндричної камери, а середній радіус циліндричної камери дорівнює r [27].

Коливання циліндричної поверхні камери можна представити за допомогою вектору деформації \bar{U} як:

$$\bar{U} = \bar{U}_l + \bar{U}_\tau,$$

де \bar{U}_l – потенціальна складова; \bar{U}_τ – соленоїдальна складова.

Згідно довільне векторне поле можна представити у вигляді суми градієнта деякого скалярного поля ϕ та ротора векторного потенціалу \bar{A} :

$$\bar{U} = \text{grad}\phi + \text{rot}\bar{A}.$$

Будемо вважати, в нашому випадку відсутні крутильні коливання. Тоді можна прийняти, що $\text{rot}\bar{A} = 0$.

Рівняння Геймгольца для потенціалу ϕ запишемо у вигляді:

$$c_T^2 \nabla^2 \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}, \quad (5.1)$$

де $c_T^2 = \frac{2\mu_l + \lambda_l}{\rho_k}$ – швидкість звуку і матеріалі циліндричної камери: λ_l та μ_l – перший та другий коефіцієнт Ламме; ρ_k – щільність матеріалу камери [27].

Використовуючи метод Фур'є, розв'язок рівняння (5.1) будемо шукати у вигляді:

$$\phi = f(r) \cos n\theta \cdot e^{-j\gamma_T z} \cdot e^{j\omega t}, \quad (5.2)$$

де $f(r)$ – функція, що залежить від r ; θ – полярний кут; n – ціле число; γ_T – деяка стала величина.

Після підстановки виразу (5.2) у рівняння (5.1) для функції $f(r)$ отримаємо:

$$f'' + \frac{1}{r} f' + \left(a^2 - \frac{n^2}{r^2}\right) f = 0, \quad (5.3)$$

де $a^2 + \gamma_T^2 = \frac{\omega^2}{c_T^2}$; ω – кутова частота; a – деяка стала величина.

Зробимо підстановку $x = ar$. Це дасть можливість рівняння (5.3) привести до вигляду:

$$f(x)'' + \frac{1}{x}f(x)' + \left(1 - \frac{n^2}{x^2}\right)f(x) = 0.$$

Розв'язок отриманого рівняння Бесселя запишемо у вигляді суми циліндричних функцій Бесселя та Неймана [27]:

$$f(r) = AJ_n(ar) + BN_n(ar),$$

де A та B – константи, що залежать від граничних умов; $J_n(ar)$ – Функція Бесселя порядку n ; $N_n(ar)$ – функція Неймана порядку n .

Знайдемо компоненти вектора \bar{U} :

$$U_r = f' \cos n\theta \cdot e^{-j\gamma_T z} \cdot e^{j\omega t};$$

$$U_\theta = -\frac{n}{r} f \sin n\theta \cdot e^{-j\gamma_T z} \cdot e^{j\omega t}; \quad (5.4)$$

$$U_x = -\gamma_T f \cos n\theta \cdot e^{-j\gamma_T z} \cdot e^{j\omega t}.$$

На вільній поверхні циліндричної камери нормальні складові тензора механічного напруження дорівнюють нулю, тобто:

$$\sigma_{rr} = 0|_{r=R_1; r=R_2}.$$

В циліндричній системі координат закон Гука можна виразити рівнянням [27]:

$$\sigma_{rr} = \gamma_{\text{л}} \left(\frac{\partial U_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_{\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial U_x}{\partial z} \right) + 2\mu_{\text{л}} \frac{\partial U_x}{\partial r}.$$

Враховуючи вирази (5.4), для компонент \bar{U} після перетворень отримаємо:

$$\sigma_{rr} = [-\lambda_{\text{л}}(a^2 + \gamma_T^2)f + 2\mu_{\text{л}}f''] \cos n\theta \cdot e^{-j\gamma_T z} \cdot e^{j\omega t}.$$

Після виконання відповідних підстановок отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} -\lambda_{\text{л}}(a^2 + \gamma_T^2)[AJ_n(aR_1) + BN_n(aR_1)] + 2\mu_{\text{л}}[AJ_n''(aR_1) + BN_n''(aR_1)] &= 0, \\ -\lambda_{\text{л}}(a^2 + \gamma_T^2)[AJ_n(aR_2) + BN_n(aR_2)] + 2\mu_{\text{л}}[AJ_n''(aR_2) + BN_n''(aR_2)] &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (5.5)$$

Система рівнянь (5.5) буде мати ненульовий розв'язок відносно A та B у випадку, коли детермінант D даної системи дорівнює нулю, тобто коли справедливим є запис:

$$\begin{aligned} D = & \left[2\mu_{\text{л}}J_n''(aR_2) - \frac{\lambda_{\text{л}}\omega^2}{c_l^2}J_n(aR_2) \right] \times \left[2\mu_{\text{л}}N_n''(aR_1) - \frac{\lambda_{\text{л}}\omega^2}{c_l^2}N_n(aR_1) \right] - \\ & - \left[2\mu_{\text{л}}J_n''(aR_1) - \frac{\lambda_{\text{л}}\omega^2}{c_l^2}J_n(aR_1) \right] \times \left[2\mu_{\text{л}}N_n''(aR_2) - \frac{\lambda_{\text{л}}\omega^2}{c_l^2}N_n(aR_2) \right] = 0. \end{aligned} \quad (5.6)$$

Рівняння (5.6) зручно розв'язати графічним методом відносно a та ω . Це дозволяє отримати γ_T :

$$\gamma_T = \sqrt{\frac{\omega^2}{c_T^2} - a^2}.$$

Тоді відстань між ультразвуковими приводами випромінювачами на зовнішній поверхні циліндричної кавітаційної камери вздовж осі X може бути знайдена як [27]:

$$l_x = \frac{2\pi}{\nu_T}.$$

Для випадку радіально - згинальних коливань циліндричної поверхні кавітаційної камери резонансна частота визначається залежністю [27]:

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2r^2\pi} c_T \frac{h_K}{\sqrt{12}} K_\lambda,$$

де h_K – товщина стінки камери; $K_\lambda = \sqrt{\frac{i^2(1-i^2)^2}{1+i^2}} i$ – число хвиль, розміщених по окружності кільця.

Таблиця 5.1

Залежність значення K_λ від i

i	K_λ	i	K_λ
4	14.553	8	62.516
5	23.534	9	79.514
6	34.522	10	98.507
7	47.518		

У випадку збудження радіальної моди коливань трубчатої циліндричної кавітаційної камери резонансна частота може бути розрахована за формулою [27]:

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E_K}{\rho_K r^2}},$$

де E_k – модуль пружності матеріалу труби кавітаційної камери при розтягуванні.

Узгодження резонансних частот радіальних або радіально-згинальних коливань з коливаннями по довжині камери досягається зміною геометричних розмірів циліндричної трубчастої заготовки [27].

Для збудження резонансних коливань циліндричної кавітаційної камери можуть бути застосовані п'єзоелектричні приводи - випромінювачі поздовжніх переміщень, побудовані у відповідності до 1, 1/2 або 3/4 хвильових акустичних схем. Доцільно застосовувати в даному випадку ультразвукові приводи-випромінювачі з напівхвильовою акустичною схемою, які забезпечують суттєве зменшення масо-габаритних характеристик фільтра з ефектом регенерації. При цьому, для зменшення негативного впливу привода-випромінювача поздовжніх коливань на форму власних коливань кавітаційної камери, ступінь малого діаметру трансформатора коливальної швидкості привода виконують ножевидною з розміщенням торцевої робочої поверхні на зовнішній поверхні камери вздовж твірної лінії [27].

Для розрахунку акустичних розмірів ультразвукового п'єзоелектричного привода-випромінювача були здійснені розрахунки з урахуванням відомої методики [27].

Напівхвильовий складений п'єзоелектричний привід-випромінювач згідно розрахункової схеми (рис. 5.7) будується за принципом ультразвукового перетворювача Ланжевена, в якому одна з накладок, що понижують частоту (демпфуючі накладки), виконана у вигляді трансформатора коливальної швидкості, застосування якого дозволяє отримати необхідну величину амплітуди коливань вихідного торця випромінювача. Зазвичай, в якості трансформатора коливальної швидкості застосовують ступінчасті, конічні, експоненціальні, катеноїдальні та інші акустичні концентратори, які за рахунок різниці площ вхідного та вихідного торців забезпечують збільшення амплітуди поздовжніх коливань [27].

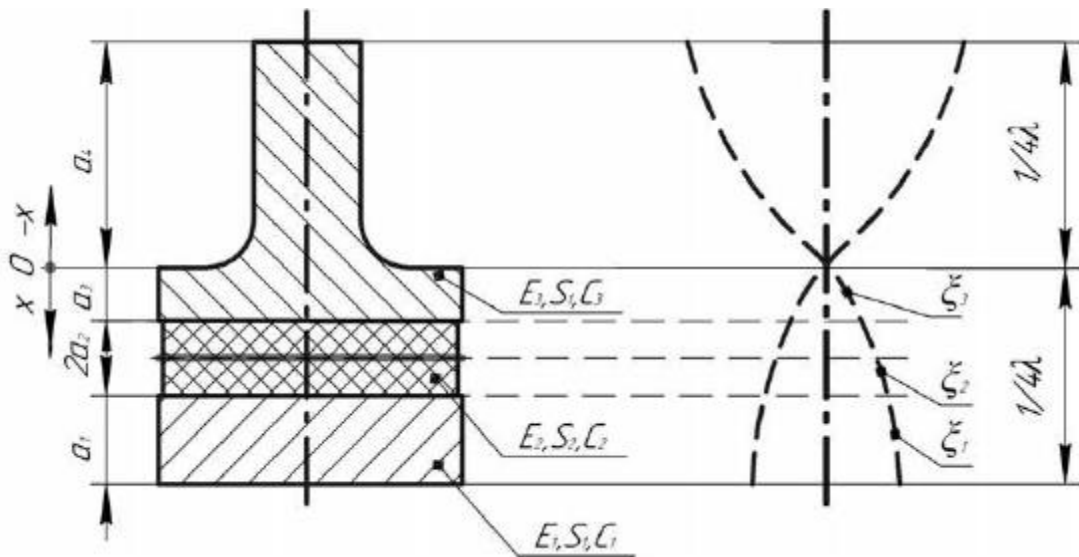


Рис. 5.7. Розрахункова схема напівхвильового привода-випромінювача

В загальному вигляді рівняння поздовжніх коливань складеного ультразвукового привода-випромінювача можна записати як:

$$S \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial}{\partial x} \left(S \frac{\partial \xi}{\partial x} \right), \quad (5.7)$$

де ξ – поздовжнє переміщення; c – швидкість звуку; S – площа поперечного перерізу; x – напрямок розповсюдження хвиль.

В разі застосування в приводі-випромінювачі ступінчастого трансформатора коливальної швидкості коефіцієнт трансформації буде становити [27]:

$$K = \frac{S_{\delta}}{S_M},$$

де S_{δ} – площа вхідного торця; S_M – площа вихідного торця (торця меншої площі).

Для акустичної системи, що розглядається, в разі збудження гармонійних коливань рішення загального рівняння (5.7) можна записати як:

$$\xi_1(x, t) = \left(A \cos \frac{\omega}{c_1} x + B \sin \frac{\omega}{c_1} x \right) \sin(\omega t + \phi); \quad (5.8)$$

$$\xi_2(x, t) = \left(C \cos \frac{\omega}{c_2} x + D \sin \frac{\omega}{c_2} x \right) \sin(\omega t + \phi), \quad (5.9)$$

$$\xi_3(x, t) = \left(Q \cos \frac{\omega}{c_3} x + G \sin \frac{\omega}{c_3} x \right) \sin(\omega t + \phi), \quad (5.10)$$

Згідно розрахункової схеми (рис. 5.7) граничні умови можна записати у вигляді:

$$\xi_3 = 0 \text{ при } x = -a_3, \quad (5.11)$$

$$\left. \begin{array}{l} \xi_2 = \xi_3 \\ E_2 S_2 \frac{\partial \xi_2}{\partial x} = E_3 S_1 \frac{\partial \xi_3}{\partial x} \end{array} \right\} \text{ при } x = 0; \quad (5.12)$$

$$\left. \begin{array}{l} \xi_2 = \xi_1 \\ E_2 S_2 \frac{\partial \xi_2}{\partial x} = E_1 S_1 \frac{\partial \xi_1}{\partial x} \end{array} \right\} \text{ при } x = 2a_2; \quad (5.13)$$

$$\frac{\partial \xi_1}{\partial x} = 0 \text{ при } x = a_1 + 2a_2, \quad (5.14)$$

Приймаючи до уваги умову (5.11) можна з рівняння (5.10) отримати:

$$Q \cos \frac{\omega}{c_3} a_3 = G \sin \frac{\omega}{c_3} a_1,$$

або

$$Q = G \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_3} a_3. \quad (5.15)$$

Тоді рівняння (5.10) прийме вигляд:

$$\xi_3(x, t) = G \left(\sin \frac{\omega}{c_3} x + tg \frac{\omega}{c_3} a_3 \cos \frac{\omega}{c_3} x \right) \cdot \sin(\omega t + \phi). \quad (5.16)$$

Перша половина граничних умов (5.12) дозволяє з урахуванням рівнянь (5.9) та (5.16) записати:

$$C = Gtg \frac{\omega}{c_3} a_3 \quad (5.17)$$

Друга половина умов (5.12) після диференціювання рівнянь (5.9) та (5.16) дозволяє записати:

$$E_2 S_2 \frac{D}{c_2} = E_3 S_1 \frac{G}{c_3}, \text{ або } \frac{D}{G} = \frac{E_3 S_1 c_2}{E_2 S_2 c_3}. \quad (5.18)$$

Тоді, спільне рішення рівнянь (5.17) та (5.18) дозволяє отримати:

$$\frac{D}{C} = \frac{E_3}{E_2} \frac{S_1 c_2}{S_2 c_3 tg \frac{\omega}{c_3} a_3}. \quad (5.19)$$

Гранична умова (5.14) дозволяє привести рівняння (5.8) до вигляду:

$$B = Atg \frac{\omega}{c_1} (a_1 + 2a_2). \quad (5.20)$$

З урахуванням (5.20) рівняння (5.8) перепишемо у вигляді:

$$\xi_1(x, t) = A \left[\cos \frac{\omega}{c_1} x + tg \frac{\omega}{c_1} (a_1 + 2a_2) \sin \frac{\omega}{c_1} x \right] \cdot \sin(\omega t + \phi). \quad (5.21)$$

Приймаючи до уваги першу половину умов (5.13), рівняння (5.9) та (5.21) можна записати у вигляді:

$$C \left(\cos \frac{\omega}{c_2} 2a_2 + \frac{D}{C} \sin \frac{\omega}{c_2} 2a_2 \right) = A \left[\cos \frac{\omega}{c_1} 2a_2 + tg \frac{\omega}{c_1} (a_1 + 2a_2) \sin \frac{\omega}{c_1} 2a_2 \right] \quad (5.22)$$

Друга половина граничних умов (5.13) дозволяє після диференціювання записати рівняння (5.22) в наступному вигляді:

$$C \left(\frac{D}{C} \cos \frac{\omega}{c_2} 2a_2 - \sin \frac{\omega}{c_2} 2a_2 \right) = A \frac{E_1 S_1 c_2}{E_2 S_2 c_1} \times \\ \times \left[\operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} (a_1 + 2a_2) \cos \frac{\omega}{c_1} 2a_2 - \sin \frac{\omega}{c_1} 2a_2 \right]. \quad (5.23)$$

Поділ виразу (5.22) на (5.23), а також врахування співвідношення (5.19) дає можливість отримати:

$$a_3 = \frac{c_3}{\omega} \operatorname{arctg} \frac{E_3 S_1 c_2 \left(N \cos \frac{\omega}{c_2} 2a_2 - \sin \frac{\omega}{c_2} 2a_2 \right)}{E_2 S_2 c_3 \left(N \sin \frac{\omega}{c_2} 2a_2 - \cos \frac{\omega}{c_2} 2a_2 \right)}, \quad (5.24)$$

$$\text{де } N = \frac{E_2 S_2 c_1 \left[\cos \frac{\omega}{c_1} 2a_2 + \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} (a_1 + 2a_2) \sin \frac{\omega}{c_1} 2a_2 \right]}{E_1 S_1 c_2 \left[\operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} (a_1 + 2a_2) \cos \frac{\omega}{c_1} 2a_2 - \sin \frac{\omega}{c_1} 2a_2 \right]}.$$

Для розрахунку поздовжнього розміру a_3 акустичної розрахункової схеми (рис. 5.7) за допомогою формули (5.24) необхідно задатися бажаними величинами товщини накладки, що понижує частоту, та маркою конструкційного матеріалу, з якого вона буде виготовлена, а також обрати марку п'єзокераміки з її параметрами [27].

Поздовжній розмір a_4 (рис. 5.7), ступеню малої площі трансформатора коливальної швидкості можна отримати із залежності [27]:

$$a_4 = \frac{a_3}{4f}. \quad (5.25)$$

Розмір, розрахований згідно формули (5.25), необхідно скорегувати (зменшити) в залежності від приєднаної маси на робочому торці трансформатора коливальної швидкості. Приєднана маса залежить від моди збуджуваних коливань та способу кріплення акустичної резонансної системи [27].

Інколи, з метою зменшення габаритів та підвищення потужності проточного ультразвукового кавітаційного обладнання трубчасту кавітаційну камеру виконують секційною з окремих ущільнених трубчастих кілець-вібраторів, довжина яких менша за $1/2$ згинальної хвилі деформації. Це дозволяє позбутися згинальних коливань по довжині циліндричної кавітаційної камери, а, відповідно, і зон з вузлами коливань, в області яких кавітація не збуджується [27].

5.3. Результати моделювання

Для перевірки коректності обмежень та припущень, використаних в наведеній методиці, було проведено моделювання роботи акустичної системи, що розглядається, в програмному середовищі Abaqus Student Edition 2018 (рис. 5.8, 5.9, 5.10) [27].

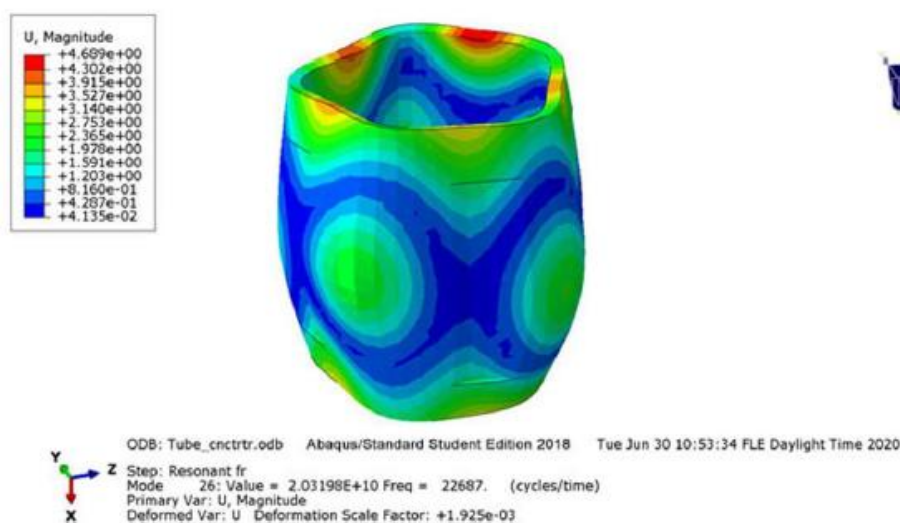


Рис. 5.8. Моделювання роботи циліндричної камери, збудженої на радіально-згинальній моді коливань

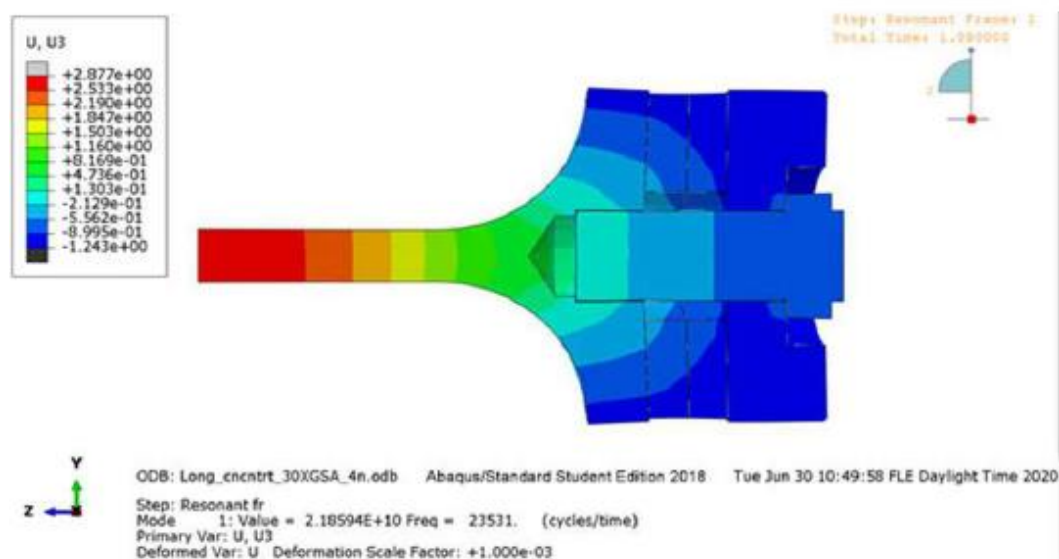


Рис. 5.9. Моделювання роботи 1/2-хвильового привода-випромінювача поздовжніх коливань

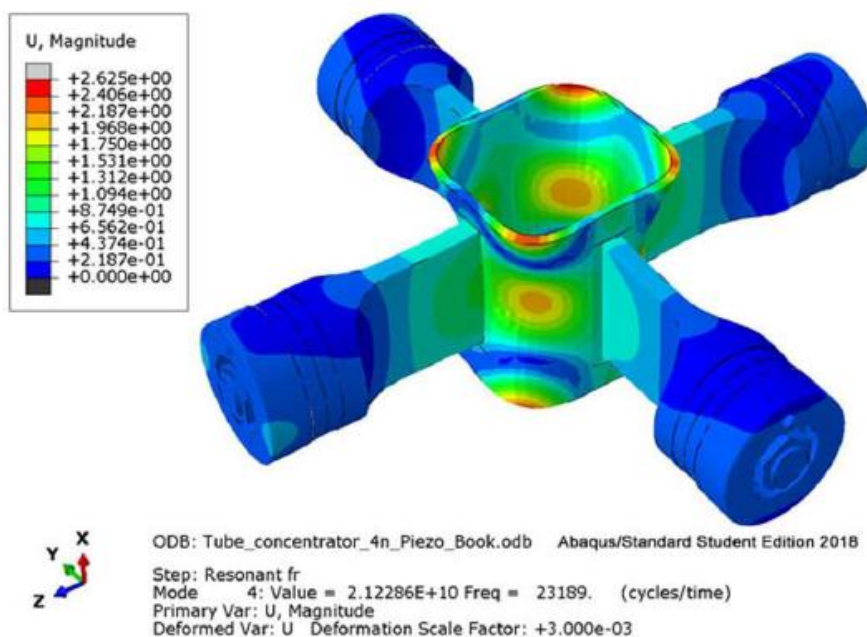


Рис. 5.10. Моделювання роботи ультразвукової кавітаційної секції з трубчастим вібратором

Запропонована методика розрахунку ультразвукових проточних кавітаторів з трубчастим вібратором дозволила спроектувати та виготовити

модульну кавітаційну секцію (рис. 5.11) для реалізації ультразвукових кавітаційних технологій [27].



Рис. 5.11. Модульна ультразвукова кавітаційна секція з трубчастим вібратором

Висновок до розділу

Кавітаційна обробка рідини сприяє її активації, змінює її фізико-хімічні властивості, інтенсифікує хіміко-технологічні процеси. Для посилення кавітаційного впливу на рідину, необхідно здійснити комплексний багатофакторний вплив на неї. Для цих цілей використовуються гідродинамічні, електродинамічні, п'єзоелектричні, магнітострикційні генератори кавітації.

Запропонована методика розрахунку дозволяє проектувати циліндричні ультразвукові кавітаційні камери фільтра з ефектом регенерації. Дана методика враховує як резонансну частоту електро-акустичних випромінювачів, так і складність геометричної форми кавітаційної камери ультразвукових пристроїв. Багаторазова практична перевірка представленої методики розрахунку резонансних акустичних систем підтвердила її достатню точність за умови застосованих припущень. Це дозволило створити ефективне ультразвукове

кавітаційне технологічне обладнання фільтрування рідин з регенерацією фільтрувальних перегородок, яке знайшло впровадження в кавітаційних технологіях в машинобудуванні, сільському господарстві, харчовій промисловості та медицині.

РОЗДІЛ 6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

На основі запропонованої вище гідравлічної схеми було створено системи для ультразвукового кавітаційного очищення води (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Вигляд установки

Об'єктом дослідження, відповідно, є вода водопровідна не стерильна. Попередньо, перед експериментом, було визначено загальну кількість мікроорганізмів. Наступним кроком в кавітаційну установку було залито 10 ± 2 л води [28].

У дослідженнях були використані наступні режими обробки, подані у таблиці 6.1, з використанням двох контурів перекачування рідини. Зазначимо, що контур 1 є незамкненим, а контур 2 – замкненим, адже вода циркулює безперервно і нікуди не зникає.

Наступним етапом дослідження стала ультразвукова обробка води із внесенням бактерій у початкових титрах 10⁶ кл/мл; цю обробку було проведено на вказаному устаткуванні [28].

Режим обробки води на УЗДН-1 наступний: спершу проводимо обробку у потоковому режимі 10 л протягом встановленого часу, залежно від розрахованих за витратами циклів прокачування води, і лише після 1, 5, 10 і 20 циклів обробки відбираємо 10 мл проби на аналіз у стерильні пробірки [28].

Таблиця 6.1

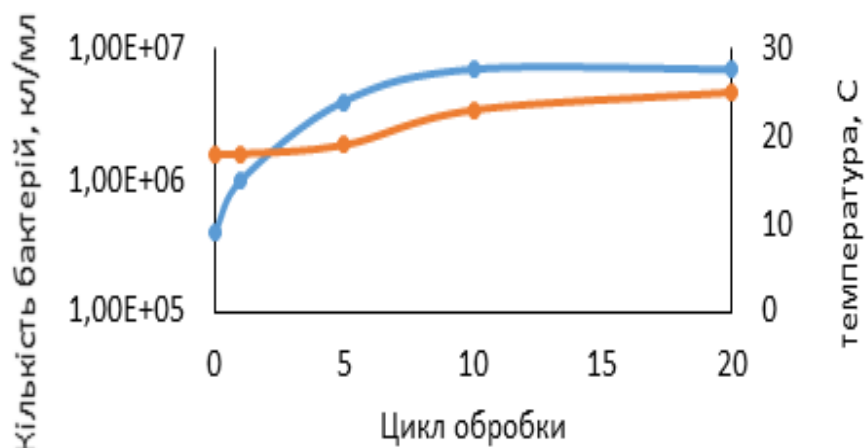
Режими обробки води водопровідної

Режим	Тиск, бар	Компресор, бар	Об'єм рідини, л	Час прокачування, сек (хв)	Витрати, л/хв
Контур 1	2,0	6,3	6,0	32,29	11,14
	1,0	5,8	6,5	23,32	16,72
	0,2	5,8	5,5	18,52	17,70
Контур 2	2,0	6,3	-	60,0	11,14
	2,0	6,3	-	3,5 хв	3,5-4,0
	2,0	6,3	-	7,2 хв	1,0

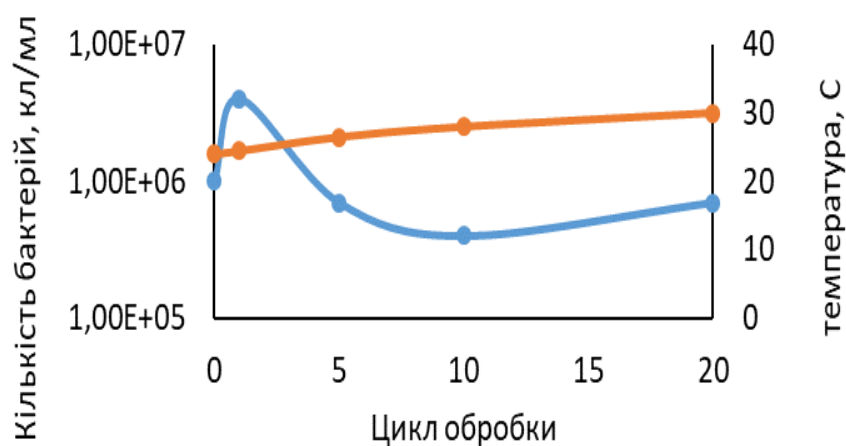
Режим обробки води на УЗДН-1 наступний: спершу проводимо обробку у потоковому режимі 10 л протягом встановленого часу, залежно від розрахованих за витратами циклів прокачування води, і лише після 1, 5, 10 і 20 циклів обробки відбираємо 10 мл проби на аналіз у стерильні пробірки [28].

Взяття проби на аналіз здійснюється з метою повторного виявлення кількості бактерій, але уже після теплової обробки. Кількість бактерій було визначено методом десятикратних граничних посівів у поживне середовище. Отримані результати оброблено статистично, а найбільш ймовірне число мікроорганізмів (клітини) в одиниці об'єму води (мл) розраховували за допомогою спеціальної таблиці Мак-Креді [29].

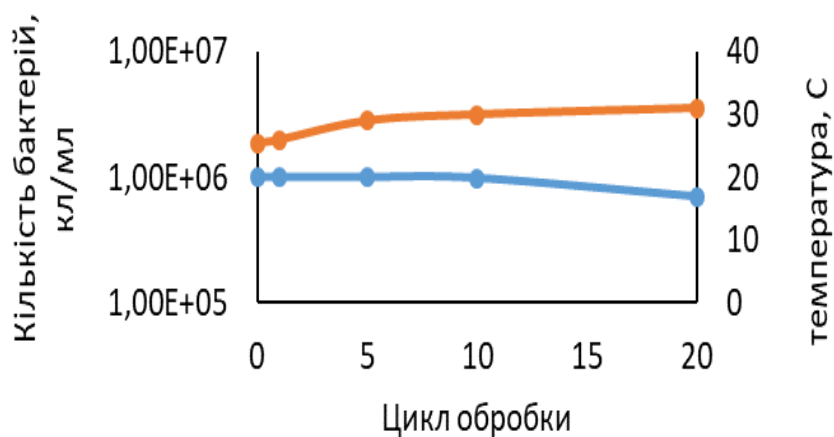
У результаті УЗ обробки води із внесенням установленної кількості мікроорганізмів за використання обраних режимів було отримано наступні результати (рис. 6.2).



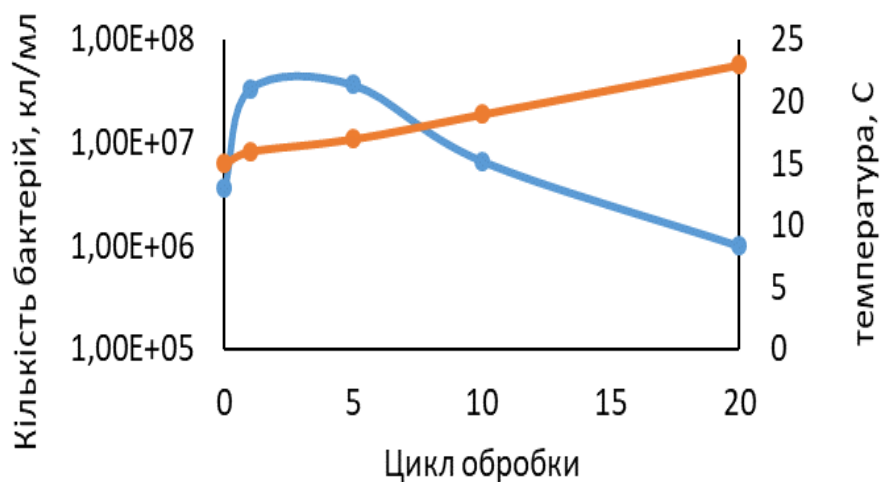
а)



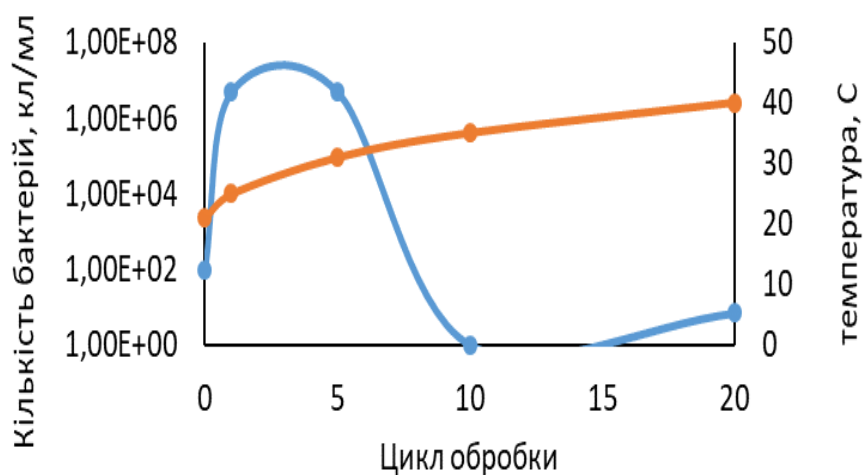
б)



в)



г)



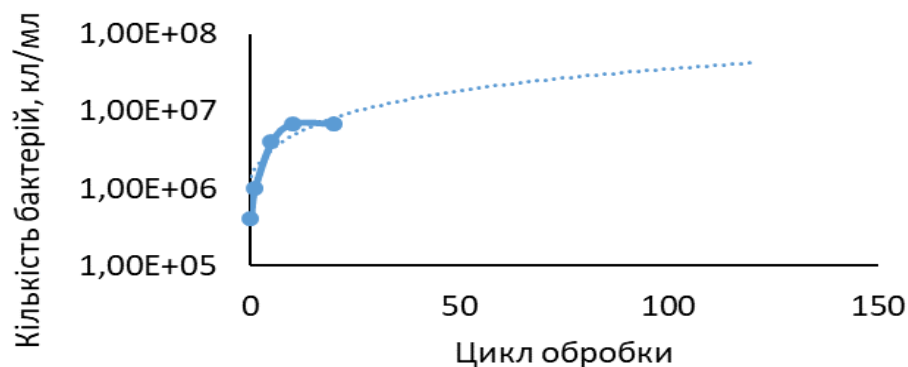
д)

Рис. 6.2. Зміна кількості бактерій за різних режимів обробки води проточним УЗ кавітатором в першому контурі: а) витрата 17,7 л/хв; б) витрата 16,7 л/хв; в) витрата 11,14 л/хв; в другому контурі: г) витрата 11,14 л/хв; д) витрата 4 л/хв.

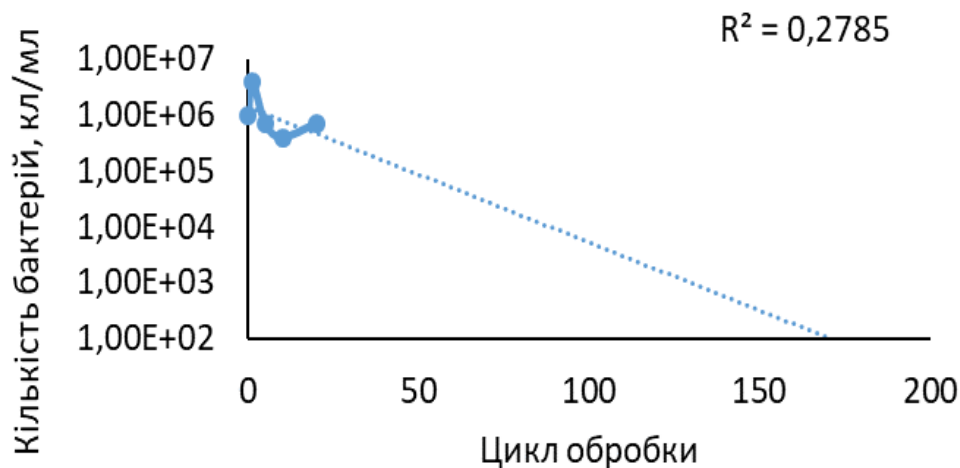
З огляду на вищенаведене можемо зробити наступний висновок: чим менші витрати установки та вища температура, тим більше бактерій знищується, і, відповідно, чистішою стає вода.

Цікавим фактом є наступне: якщо витрати установки достатньо високі (наприклад, 17,7 л/хв), а температура нижче 25°C, таке середовище створює лише сприятливий клімат для розмноження бактерій, і їх стає ще більше, ніж було до термічної обробки [28].

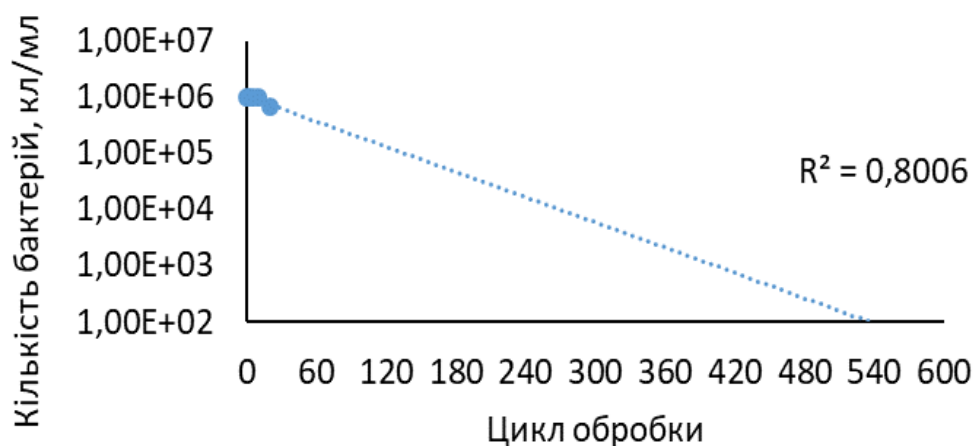
Укрупнені дані стосовно кількості бактерій при відповідних витратах, отримані протягом декількох циклів, вирахуємо аналітичним способом і побудуємо відповідні графіки (рис. 6.3).



а)



б)



в)

Рис. 6.3. Дані апроксимації даних УЗ обробки за допомогою проточного кавітатора (800 Вт, 22,4 кГц) при витратах: а) 17,7 л/хв; б) 16,7 л/хв; в) 11,14 л/хв.

Для порівняння двох режимів обробки з однаковими витратами води 11.14 л/хв, але за двох контурів протоку води в установці було побудовано узагальнюючий апроксимований графік, де кількість циклів переведена у хвилини обробки (рис. 6.4) [28].

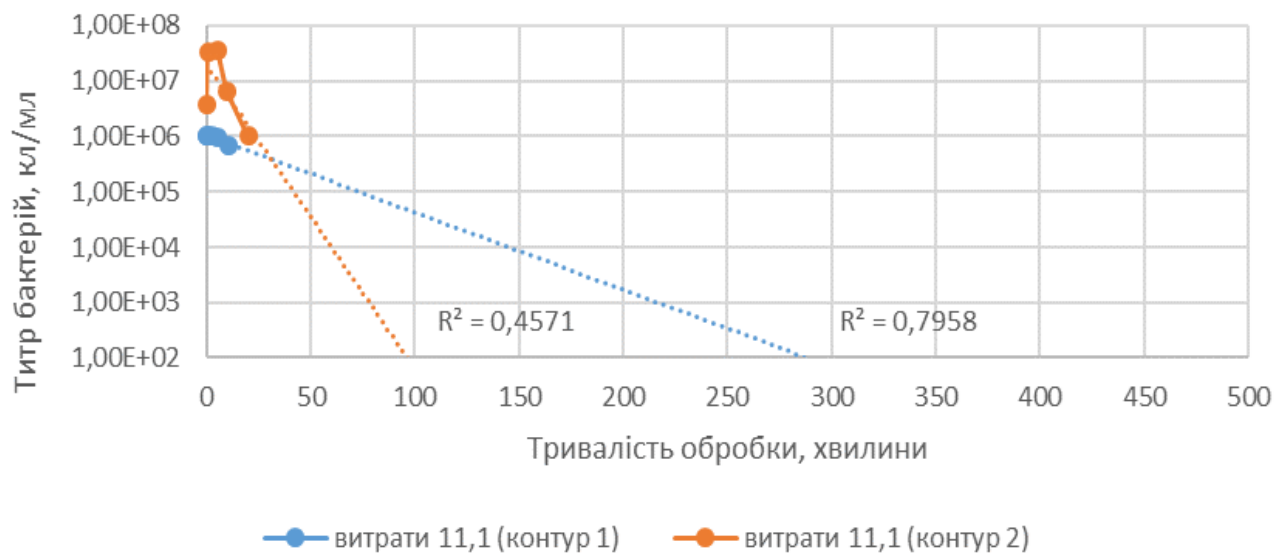


Рис. 6.4. Порівняння різних режимів протоку рідини (контурів) за УЗ обробки проточним кавітатором

Підсумок нашого дослідження наведемо у таблиці 6.2 [28].

Таблиця 6.2

Ефективність УЗ обробки води за наявності культур мікроорганізмів

Культура бактерій	Проточний УЗ кавітатор , потужність 800 Вт, частота 22,4 кГц, тривалість обробки					
	1 цикл			20 циклів		Дані апроксимації, Ефективність 99,9999%
	Початкова кількість, кл/мл	Залишкова кількість, кл/мл	Ефект. %	Залишкова кількість, кл/мл	Ефект. %	Цикл (термін обробки, год)
	2	3	4	5	6	7

Продовження Таблиці 6.2

1	2	3	4	5	6	7
Escherichia coli	Витрати 11,14 л/хв (контур 1)					
	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	0	$7 \cdot 10^5$	70,0	520-550 (5 годин)
	Витрати 11, 14 л /хв (контур 2)					
	$3,67 \cdot 10^6$	$3,37 \cdot 10^7$	0	$1,0 \cdot 10^6$	27,2	(1 год 40 хв)
	Витрати 4 л/хв (контур 2)					
	$1 \cdot 10^2$	$5,05 \cdot 10^6$	0	$0,7 \cdot 10^1$	-	-
	Витрати 1 л/хв (контур 2)					
	0	0	0	0	-	-
	Витрати 16,7 л/хв (контур 1)					
	$1 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	0	$7 \cdot 10^5$	70,0	170-180 (1,8 годин)
	Витрати 17,7 л/хв (контур 1)					
	$4 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$	0	$7 \cdot 10^6$	0	-

Висновок до розділу

Отже, після проведення дослідження було з'ясовано, що ефективність обробки води від бактерій проточним кавітатором складала 70,0% на 20 цикл обробки, що нижче від значень стаціонарного кавітатора.

За даних режимів обробки із витратами води 11,2-16,7 л/хв, тривалість обробки води для знезараження до допустимих санітарних норм (для технічної води) тривалість обробки повинна складати 1,8-5,0 годин, а при використанні режиму з витратами води 11,14 л/хв, але за іншого контуру (2) ефективний час обробки зменшувався до 1 год 40 хв. У подальшому доцільно провести дослідження в режимах з витратою 4 л/хв та 1 л/хв.

РОЗДІЛ 7. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Метою даного розділу магістерської дисертації є розробка технологічного процесу виготовлення деталі – кут 600.

Даний елемент є складовою частиною рами зварної конструкції системи для ультразвукового кавітаційного очищення води. Даний кут призначений для кріплення на нього вологостійкої фанери та подальшого обладнання та устаткування.

7.1. Технологічний контроль креслення

При проектуванні технологічного процесу виготовлення деталі вихідним документом є її креслення (рис.7.1). Технолог повинен проконтролювати робоче креслення деталі, у відповідності до ГОСТ 14.206-73.

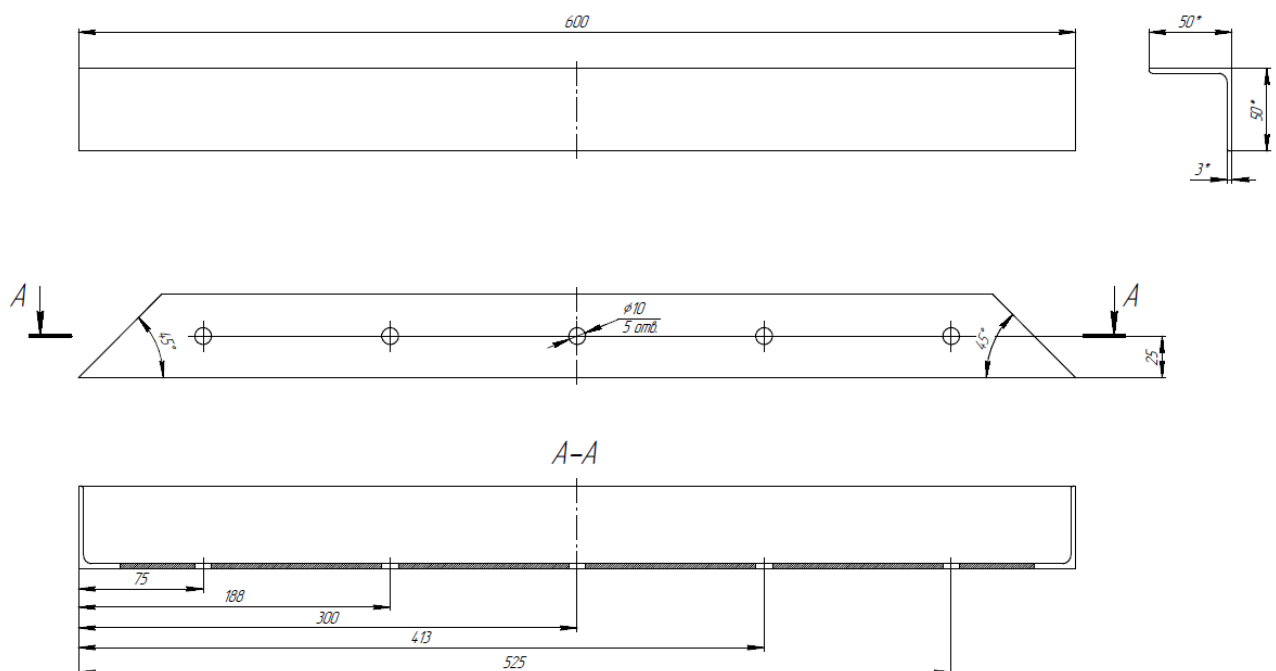


Рис.7.1. Креслення деталі

У креслення входять видимості, необхідні для якісного виготовлення деталі, які дають повне уявлення про її конструкцію, а також усі проекції, розрізи, перерізи, які пояснюють конфігурацію деталі.

Проаналізувавши креслення можна сказати, що на кресленні вказані всі розміри, необхідні для виготовлення деталі, шорсткість усіх поверхонь деталі позначена відповідно до ГОСТ 2789-73. Допуски та відхилення розмірів наведено відповідно до ГОСТ 25346-89 та ГОСТ 25347-82.

7.2. Вибір заготовки

Одним з основних напрямків у машинобудуванні є вибір форм заготовок, що дають найменші технологічні відходи. Безупинне підвищення точності заготовок і наближення їхніх форм до форм готових деталей різко скорочує галузь застосування різних методів обробки різанням і скорочує відходи металу в стружку.

В даному випадку використовуємо Кут 50x50x3 ГОСТ 8509-93 з мінімально можливою довжиною виготовлення, яка становить 3000 мм (рис.7.2).

З відповідної довжини ми зможемо отримати 5 таких елементів.

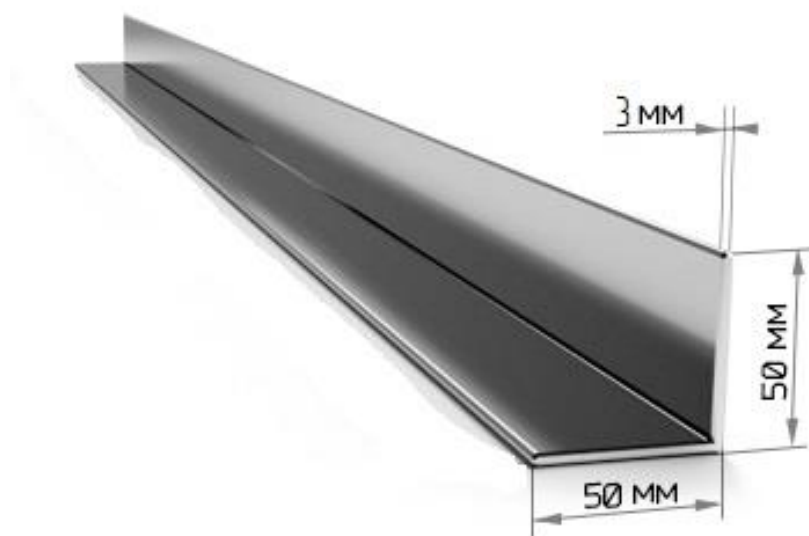


Рис.7.2. Сортамент

7.3. Вибір типу обладнання, пристроїв та інструменту

Вибір типу обладнання, пристроїв та інструменту проводиться виходячи з типу виробництва. У даному випадку тип виробництва – одиничний. Одиничне виробництво характеризується застосуванням універсального обладнання (з розташуванням його в цехах за типами станків), універсальної оснастки, універсального робочого та вимірювального інструменту, які забезпечують виготовлення виробів порівняно широкої номенклатури.

Використання обладнання за часом має щільний характер: на одному верстаті виконуються декілька операцій і часто проводиться обробка деталей різних конструкцій і з різних матеріалів.

Пристосування для обробки деталей на верстатах мають універсальний характер, тобто можуть бути використані в різних випадках. Спеціальні пристосування не застосовують або застосовують рідко, тому значні витрати на їх виготовлення економічно не виправдовуються.

Необхідний при цьому виді виробництва ріжучий інструмент також повинен бути універсальним, тому що через розмаїття оброблюваних деталей застосування спеціального інструменту економічно не доцільно.

Таким чином, виходячи із зазначених вище рекомендацій, вибираємо обладнання: стрічкова пила FDB Maschinen SG 220 HD (рис.7.3) [30] та вертикально фрезерний станок HAAS UMC-750 (рис.7.4) [31].



Рис.7.3. Стрічкова пила FDB Maschinen SG 220 HD



Рис.7.4. Вертикально фрезерний станок HAAS UMC-750

7.4. Вибір типового технологічного процесу

Технологічний процес створення даної деталі є досить простим і вимагає всього лиш проведення 6-ти послідовних операцій. Проте при створенні технологічних процесів варто пам'ятати, що відповідний рівень точності пристроїв чи обладнання спричиняють похибки відхилення форми обраної деталі.

Загалом же, технологічний процес складається з наступних, послідовно проведених, операцій:

1. Операція 005 – Заготівельна.

Обладнання: Стрічкова пила FDB Maschinen SG 220 HD.

Дія: відрізати заготовку довжиною 600 мм.

На рис.7.5 зображена операція 005.

2. Операція 010 – Цековка.

Обладнання: Вертикально фрезерний станок HAAS UMC-750 з ЧПК.

Різальний інструмент: Твердосплавне розточне свердло ColoDrill 860/1-0600-019АО-PM 4234.

Дія: створення канавок для подальшого свердління діаметром 6 мм.

На рис.7.6 зображена операція 010.

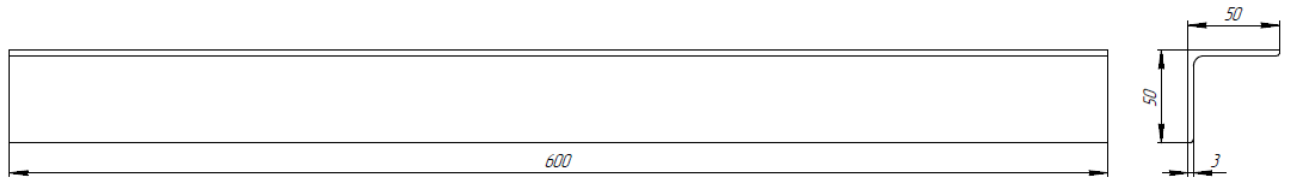


Рис.7.5. Операція 005

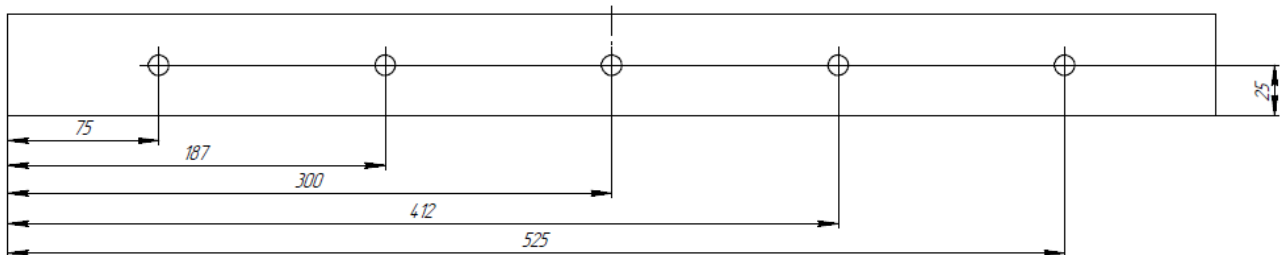


Рис.7.6. Операція 010

3. Операція 015 – Свердління.

Обладнання: Вертикально фрезерний станок HAAS UMC-750 з ЧПК.

Різальний інструмент: Свердло твердосплавне ColoDrill 860.1-1000-031AO-PM 4234.

Дія: свердління отворів діаметром 10 мм.

На рис.7.7 зображена операція 015.

4. Операція 020 – Фрезерування.

За допомогою 5-ти осьового налаштування і ЧПК даним станком, дій у перерозташуванні заготовки не потрібно.

Обладнання: Вертикально фрезерний станок HAAS UMC-750 з ЧПК.

Різальний інструмент: Цільнотвердосплавна фреза ColoMill 316 A316-10FM650-03704L 1730.

Дія: відрізання кутів заготовки під кутом шляхом поступового зняття матеріалу навсю глибину.

На рис.7.8 зображена операція 020.

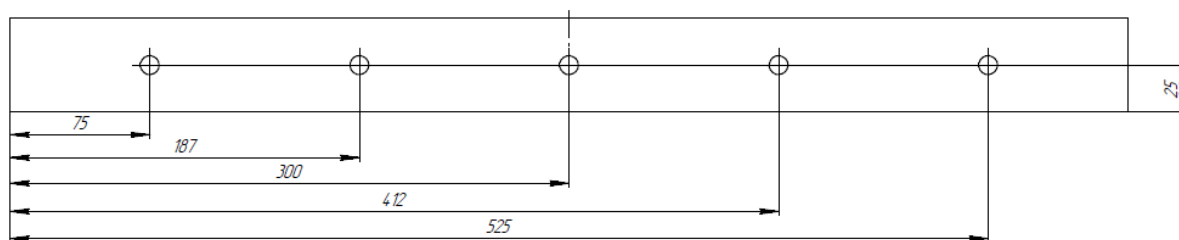


Рис.7.7. Операція 015

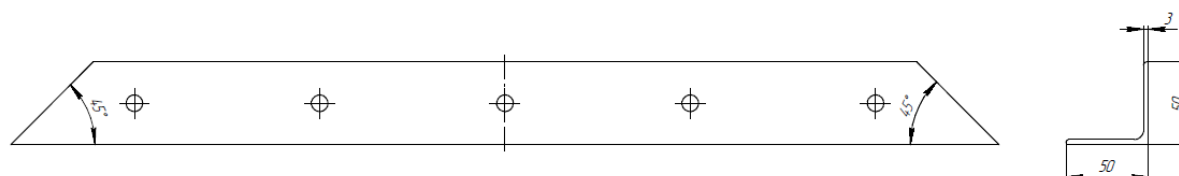


Рис.7.8. Операція 020

5. Операція 025 – Зенкування.

Після попередніх операцій, у результаті фрезерування наша заготовка розділиться на дві частини, саму деталь і відходи. Прибравши відфрезеровані частки, притуплюємо гострі кромки.

Обладнання: Вертикально фрезерний станок HAAS UMC-750 з ЧПК.

Різальний інструмент: Зенковка CoroMill Plura 1P240-0318-XA 1630.

Дія: зняття задирок.

Вигляд отриманої деталі можемо побачити на рис.7.9.

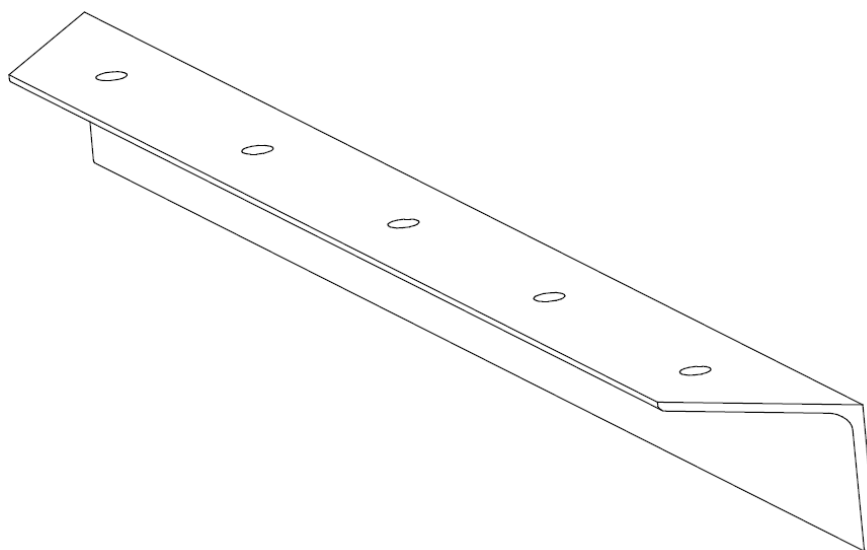


Рис.7.9. Кут 600

Для розрахунку даних про режими різання скористаємось електронною програмою «CoroPlus® Tool Guide» від компанії Sandvik Coromant [32]. Дана програма дозволяє розрахувати всі основні параметри свердління та фрезерування під внесені нами вхідні параметри. Результати розрахунків занесені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Режими різання операцій для станка з ЧПК

Операція	Діаметр, мм	Довжина, мм	Товщина, мм	Подача, мм/об	Швидкість, м/хв	Час обробки	Частота обертання
010	6	-	2	0.241	218	00:00.067	11600
015	10	-	3	0.328	214	00:00.131	6800
020	10	50	5	0.121	333	00:25.740	11100
025	4	1	1	0.0253	180	00:02.526	18000

7.5. Зварювання металоконструкцій

Виходячи з того, що основою системи, яка розглянута в магістерські дисертації, є зварна рама, на якій розміщені всі елементи, доцільно буде розглянути сучасні процеси зварювання автоматами.

Розпочнемо з того, що взагалі являє собою зварювальний автомат.

Зварювальний автомат — механізм який являє собою конструктивне об'єднання зварювальної головки з механізмом її переміщення уздовж шва, механізмами настановних переміщень, пристроєм для подачі флюсу або захисного газу, катушками або касетами для дроту, пультами керування або інших пристроїв [33]. Якщо зварювальний апарат переміщається в процесі

зварювання механізованим способом щодо виробу, то він називається зварювальним автоматом (Рис. 7.10).



Рис. 7.10. Зварювальний автомат

Класифікують зварювальні автомати, як універсальні, так і спеціалізовані за різними ознаками, наведемо деякі з них:

- за способом переміщення уздовж лінії зварного з'єднання: самохідні та несамохідні (підвісні);
- за способом захисту зони дуги — зварювальні апарати для зварювання під флюсом, у захисних газах, без зовнішнього захисту, по флюсі, під флюсом та у захисних газах;
- по виду електрода — зварювальні автомати для зварювання плавким і не плавким електродом;
- по виду плавкого електрода — для зварювання дротовим електродом, стрічковим електродом, штучними електродами;

- по числу електродів із загальним підведенням зварювального струму — одноелектродні, двухелектродні, багаторелектродні;
- за числом дуг при роздільному живленні електродів зварювальним струмом — одnodугові, двудугові, багаторугові;
- за технологічним призначенням — зварювальні апарати для наплавлення, для зварювання;
- за родом застосовуваного струму — зварювальні автомати для зварювання постійним струмом, змінним струмом, постійним і змінним струмом;
- за способом подачі електродного дроту — з незалежної від напруги на дузі подачею, із залежної від напруги на дузі подачею;
- за способом регулювання швидкості зварювання (для самохідних апаратів) і подачі електродного дроту — із плавним, із плавно-східчастим, зі східчастим регулюванням;
- за способом формування металу шва: для зварювання з вільним формуванням, із примусовим формуванням.

7.6. Зварювання під флюсом

Зварювання під флюсом є найпоширенішим видом механізованого дугового зварювання металів. Цей спосіб дозволяє замінити тяжку працю зварників ручного дугового зварювання й разом з тим, унаслідок більш високої продуктивності (можливості використання більшого за величиною зварювального струму) і деяких технологічних переваг, змінити технологію виробництва в багатьох галузях промисловості.

Автоматичне зварювання під флюсом найвигідніше застосовувати при масовому виробництві однотипних металевих виробів, які мають зручні для утримання флюсу з'єднання правильної форми.

Напівавтоматичне зварювання доцільно використовувати не тільки при масовому виробництві однотипних виробів, але й при одиничному виробництві

виробів із з'єднаннями значної протяжності та зручними для утримування флюсу.

Під флюсом недоцільно зварювати решітчасті конструкції з великою кількістю коротких з'єднань.

Промислова технологія зварювання під флюсом була розроблена в 1930-1940 рр. в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона. Основні переваги зварювання під шаром флюсу:

- підвищується продуктивність праці (у 6-12 разів) за рахунок застосування високих струмів, збільшення глибини проплавлення, відсутності втрат металу на вигар і розбризкування;
- механізація процесу зварювання;
- висока якість зварних швів за рахунок вираженого захисту флюсом зварювальної ванни від повітря;
- поліпшення умов праці зварників.

Недоліками зварювання під флюсом є:

- можливість зварювання лише в нижньому положенні (нахил до 15°);
- трудність зварювання в монтажних умовах на коротких швах;
- трудність контролю процесу зварювання;
- горіння дуги, формування шва закриті флюсом;
- флюсовий пил і пари флюсу небезпечні для здоров'я зварників;
- для зварювання необхідне складне обладнання.
- потрібне точне збирання кромок під зварювання і використання спеціальних прийомів зварювання для запобігання витіканню рідкого металу і флюсу та виникнення дефектів шва.

Особливістю процесу автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом є те, що зварна дуга горить не на відкритому повітрі, а під шаром сипучого зернистого флюсу (рис. 7.11).

Під дією тепла дуги 9 розплавляється основний метал 8, електродний дріт 1 і частина флюсу 5, який безпосередньо прилягає до зони зварювання. Електродний дріт подається вниз у зону зварювання з швидкістю його

плавлення, плавиться та переходить у шов у вигляді окремих крапель. Одночасно з цим дрiт пересувається вздовж зварних кромek у результатi чого проходить зварювання [33].

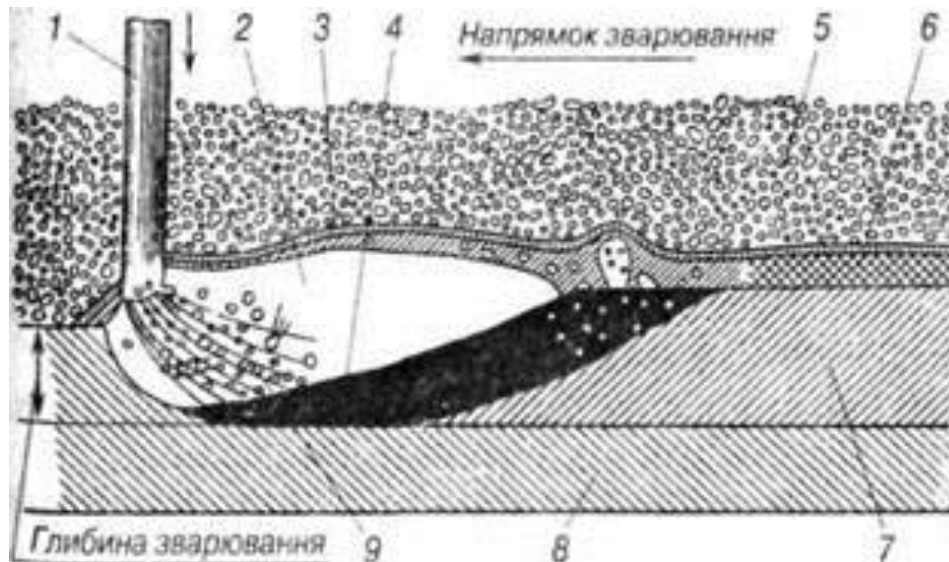


Рис.7.11. Схема горіння зварної дуги під флюсом [33]

1 – електродний дрiт; 2 – порожнина; 3 – рідкий шлак; 4 – рідкий метал;
5 – флюс; 6 – шлакова кірка; 7 – зварний шов; 8 – основний метал; 9 – дуга.

У зоні горіння дуги утворюється порожнина 2, обмежена у верхній частині оболонкою розплавленого флюсу 3. Ця порожнина заповнена парою металу, флюсу чи газами, їх тиск підтримує флюсове склепіння, що утворюється над зварювальною ванною, та надійно захищає розплавлений метал від шкідливої дії кисню й азоту повітря, а також запобігає розбризкуванню металу [33].

У порожнині створюється великий тиск газів, які відтісняють частину рідкого металу 4 в протилежний бік до напрямку зварювання. Після вистигання рідкого металу утворюється зварний шов 7, покритий кіркою шлаку 6 [33].

Флюс захищає дугу та зварювальну ванну від шкідливої дії навколишнього середовища, впливає на її метал і перешкоджає розбризкуванню рідкого металу. Розплавлений флюс, маючи низьку теплопровідність, уповільнює процес охолодження шва. При цьому шлакові включення й

розчинені гази легше піднімаються на поверхню ванни, сприяючи очищенню металу шва від забруднення.

Нерозплавлений флюс відсмоктують із шва пневматичним пристроєм і використовують при наступному зварюванні. Розплавлена та затверділа шлакова кірка легко відокремлюється від металу шва.

7.7. Роботизоване зварювання: технологія, стандарти, методи

На сучасному етапі розвитку, не тільки зварювальних технологій, а й в цілому техніки, широке застосування займають роботизовані системи.

Роботизоване зварювання являє собою повністю автоматизований процес, який реалізується за рахунок використання спеціальних роботів-маніпуляторів та іншого зварювального обладнання. Основні переваги зварювання роботом полягають у першокласній якості готових виробів і високій продуктивності зварювального виробництва (Рис. 7.12) [34].

Як і у будь-якого сучасного і високотехнологічного виробництва, в галузі зварювання роботом існує маса важливих особливостей, знання яких дозволить досягти найкращого результату і запустити дійсно безпечний, високоефективний зварювальний процес.

Головною перевагою роботизованого зварювання є його висока точність: так, технічні характеристики сучасних роботів для зварювання дають можливість домогтися точності позиціонування зварювального пальника порядку 0.03-0.05 мм, що є достатнім для переважної більшості зварювальних завдань.

Однак деякий недолік робота полягає в тому, що, на відміну від людини, при недостатньо точному позиціонуванні деталі він не може самостійно змінити траєкторію і знайти правильну точку для зварювання, тому похибка позиціонування і складання заготовки не повинна перевищувати 0.5 мм.

Метод роботизованого зварювання і, відповідно, зварювальне обладнання, вибирається виходячи з умов виробничої завдання.

Основні методи, які реалізуються промисловими зварювальними роботами [34]:

- електродугове зварювання (в захисних газах чи під флюсом);
- лазерне зварювання;
- плазмове зварювання;
- контактне зварювання;
- гібридне зварювання.



Рис. 7.12. Роботизоване зварювання металоконструкцій

Автоматичне електродугове зварювання являє собою дугове зварювання з механізованою подачею електрода і переміщенням дуги уздовж кромки. Таким чином, промисловий робот в даній технології використовується як пристрій, що маніпулює електродом, а траєкторія руху і вид шва або вибираються з бібліотеки швів у програмному забезпеченні робота, або задаються оператором вручну [34].

Лазерне зварювання являє собою процес отримання нероз'ємного з'єднання деталей за рахунок фокусування лазерного променя. Завдяки можливості витримувати надвисокі довжини фокусування (аж до 2 метрів) і тим самим забезпечувати дистанційне зварювання, такий тип істотно розширює межі використання даного технологічного процесу, а також збільшує продуктивність виготовлення деталей [34].

Плазмове зварювання - це зварювальний процес за рахунок спрямованого потоку плазмової дуги. Роботизація плазмового зварювання дає можливість в повній мірі реалізувати всі переваги даної технології, до яких відносяться низький перегрів деталей, відсутність розбризкування розплавленого металу і зварювання у важкодоступних місцях [34].

Контактне точкове зварювання - це саме та область, в якій промислові роботи історично почали використовуватися в першу чергу. Широке застосування робіт точкового зварювання почалося близько 50 років тому, і сьогодні вони є обов'язковим обладнанням будь-якого заводу автомобільної промисловості [34].

Висновки до розділу

Провели всі необхідні заходи, починаючи з читання креслення і закінчуючи послідовним переліком необхідних операцій для створення деталі Кут 600. Даний елемент є складовою частиною рами зварної конструкції системи для ультразвукового кавітаційного очищення води. Рама призначена для кріплення на ній вологостійкої фанери та іншого обладнання і устаткування.

Здійснили підбір всіх потрібних ріжучих інструментів. В кінцевому результаті отримали готову деталь.

Провели огляд методів і способів автоматичного зварювання металоконструкцій.

РОЗДІЛ 8 . БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

В даному розділі аналізуються умови праці при проведенні експериментальних випробувань розробленої системи для ультразвукової кавітаційної очистки води в лабораторії. При виконанні даних робіт персонал піддається впливу різних шкідливих факторів, які виникають, а також взаємодіють з різними джерелами небезпеки [35].

8.1. Санітарно - гігієнічна характеристика аудиторії

Дані про приміщення наведені в табл. 8.1., характеристики обладнання – табл. 8.2.

Таблиця 8.1

Загальні характеристики приміщення

Розміри приміщення	3м x 8м
Площа	24 м ²
Кількість робочих місць	2
Природне освітлення	8 вікон
Штучне освітлення	8 LED-панелей LUXEL LX 600SC
Опалення	Центральне водяне
Стіни	Цегляні, покриті фарбою
Підлога	Бетон, паркет
Стеля	Покрита білою водоемульсійною фарбою
Вікно	0.8м x 0.8м, скло подвійне
Двері	2.1м x 1.5м

Таблиця 8.2

Обладнання аудиторії

Найменування	Характеристика	Кількість
Щитова	0.7м x 0.7м x 0.2м	1
Стіл робочий	1.2м x 0.8м x 0.8м	2
Стілець	0.6м x 0.6м x 0.9м	4
Енергопостачання системи	2 кВт	1

Площа: $S_{\text{ауд}} = 24 \text{ м}^2$.

Об'єм: $V_{\text{ауд}} = 24 \cdot 3.5 = 84 \text{ м}^3$.

Площа приміщення на одну людину розраховується за формулою:

$$S_{\text{л}} = \frac{24}{2} = 12 \text{ м}^2.$$

Обсяг, що припадає на кожного працюючого розраховується за формулою:

$$V_{\text{л}} = \frac{84}{2} = 42 \text{ м}^3.$$

Фактичні і нормативні дані по ДНАОП 0.00-1.31-99 наведені в табл. 8.3 [35].

Таблиця 8.3

Дані розмірів ділянки на одного працівника

Параметр	Нормативне значення	Фактичне значення
Площа	Не менше 4.5 м^2	12 м^2
Об'єм	Не менше 15 м^3	42 м^3
Висота	Не менше 3 м	3.5 м

Перелік можливих заходів для нормалізації показників ділянки представлені в табл. 8.4.

Таблиця 8.4

Заходи для нормалізації показників ділянки

Вид захисту		Засоби подолання небезпеки
Технічні заходи	Обладнання	Встановлення обладнання на допустимій відстані один від одного
	Приміщення	Зміна розміщень робочих місць
Організаційні заходи		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Організація робочого місця відповідно до вимог ➤ Режим праці і відпочинку ➤ Дотримання правил технічної безпеки ➤ Проведення планово-попереджувальних оглядів

8.2. Оцінка небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори відповідно до ГОСТ 12.0.003-74, що є в данній лабораторії наведені в табл. 8.5 [35].

Таблиця 8.5

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Фактор	Джерело
Хімічні	Відсутні
Фізичні	<p>Шум</p> <p>Електронебезпека</p> <p>Пожежонебезпека</p> <p>Вібрації</p>
Психофізіологічні	Нервові перевантаження, стрес

8.3. Шум

Основні джерела шуму наведені в табл. 8.6.

Таблиця 8.6

Джерела шуму та їх наслідки

Джерело	Наслідки	
	Для людини	Для обладнання
Робота обладнання	Втома Дратівливість Зниження концентрації	Відсутні

Значення рівнів звуку і шуму по ДСН.3.3.6.037-99 наведені в табл.8.7 [35].

Таблиця 8.7

Нормативні та фактичні значення рівнів звуку та шуму

Тип	Реальні значення	Нормативні значення
Рівень шуму	75-80	до 80

Можна зробити висновок, що максимальний рівень шуму в приміщенні знаходиться в межах норми і є меншим допустимого.

Перелік можливих заходів та засобів від шуму наведені в табл. 8.8.

Таблиця 8.8

Заходи та засоби захисту від шуму

Вид захисту		Засоби подолання небезпеки
Технічні заходи	Приміщення	Звукоізолююча конструкція вікон і звукопоглинальне покриття на стінах
Організаційні заходи		Дотримання правил експлуатації

	обладнання
--	------------

8.4. Електробезпека

Дане приміщення за рівнем безпеки ураження електричним струмом відноситься до приміщень підвищеної безпеки. Всі прилади, які підключені до мережі відповідно НПАОП 40.1-1.21 заземлені. Ручки включення і управління обладнання виготовлені з діелектричних матеріалів [35].

Можливі джерела і їх небезпека ураження струмом наведені в табл.8.9.

Таблиця 8.9

Джерела і небезпека ураження струмом

Джерело	Наслідки	
	Людина	Обладнання
Устаткування	При недотриманні правил техніки безпеки може призвести до ураження струмом, спричинить за собою: Опіки живих тканин Поранення	Вихід з ладу, псування внутрішніх елементів та деталей
Розетки та вимикачі		

Споживачі в приміщенні зазначені в табл. 8.10.

Таблиця 8.10

Параметри споживачі напруги

Найменування електроприладу	Робочі умови застосування	Потужність, Вт
Система очистки	Мережа змінного струму напругою 220 ± 20 В частотою 50 ± 0.5 Гц	$1200 \pm 20\%$
Джерела освітлення		180

Перелік можливих заходів та засобів від ураження струмом наведені в табл. 8.11.

Таблиця 8.11

Заходи і засоби від ураження струмом

Вид захисту		Засоби подолання небезпеки
Технічні заходи	Обладнання	Послуги ізоляції устаткування у відповідності з нормами Підключення устаткування відповідно до вимог ПБЕ та ПУЕ
	Приміщення	Підключення приладів тільки з змінною напругою 220 в, 50Гц Ізоляція електричних кабелів

Дане приміщення відповідає вимогам з електробезпеки ДНАОП 0.00-1.32-99.

8.5. Пожежна безпека

Приміщення відповідно до ОНТП 24-86 можна віднести до категорії «Д» з вибухопожежної небезпеки [35].

Можливі джерела і наслідки пожежної небезпеки наведені в табл. 8.12.

Таблиця 8.12

Джерела і наслідки пожежної небезпеки

Джерело	Небезпечний фактор	Наслідки
Обладнання	Коротке замикання	Виникнення пожежі
Розетки, вимикачі	Перевантаження, коротке замикання	Пошкодження важливих матеріалів, приладів Загроза життю людей

Мінімальний час евакуації відповідає вимогам ДБН В.2.2-9-99 ($t = 1$ хв), а максимальна дальність робочих місць від евакуаційних виходів ($l = 15$ м) відповідає вимогам ДБН В.2.2-9-99.

Кількість вогнегасників на пожежному щиті відповідає вимогам ISO 3941-87, якими передбачене обов'язкова наявність двох вогнегасників ОУ-5, ВВК-3,5 на 40 м².

8.6. Вказівки щодо роботи з системою

Система для ультразвукової кавітаційної очистки води повинна забезпечувати безпеку при монтажі (демонтажі) складових частин та елементів, проведенні експериментів.

Система повинна відповідати ГОСТ 12.1.004, щодо пожежної безпеки.

Санітарно-гігієнічний стан повинен відповідати ГОСТ 12.1.005.

До роботи з системою допускаються особи, які пройшли інструктаж з техніки безпеки, ознайомлені з її роботою стенду і пристроями.

Система повинна бути оснащена необхідними установками, приладами, інструментом і пристосуваннями, які повинні бути справні і мати відповідні паспорти, сертифікаційні документи, клейма про перевірку.

Система і сам процес проведення експериментів повинні відповідати вимогам техніки безпеки, передбаченими наступними нормативними документами:

- «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів»;
- «Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів (ПТБ) »;
- НПАОП 0.00-1.13 «Правила будови і безпечної експлуатації стаціонарних компресорних установок, повітропроводів і газопроводів».

Слід негайно зупинити систему при появі стороннього шуму чи витоків рідини. Повторний пуск дозволяється тільки після виявлення і усунення причини несправності.

Забороняється проводити будь-які випробувальні та ремонтні роботи при ввімкненому живленні системи.

Забороняється експлуатація системи при відсутності заземлення.

Перед кожним експериментом необхідно зробити візуальний огляд системи.

Висновки до розділу

Провівши аналіз умов праці в лабораторії , можна зробити висновки:

- Показники рівня шуму відповідають нормативним вимогам;
- Передбачені всі заходи безпеки роботи електрообладнання;
- У робочому приміщенні виконуються усі вимоги по пожежній безпеки відповідно до вимог НАПБ.А.01.001 95 «Правила пожежної безпеки».

Наведено основні вказівки щодо початку роботи системи та її обслуговування. Робимо висновок, що умови праці в лабораторії є оптимальними.

РОЗДІЛ 9. РОЗРОБКА СТАРТАП – ПРОЕКТУ

Метою даного розділу є проведення маркетингового аналізу стартап – проекту для визначення принципові можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження [36].

9.1. Опис ідеї проекту

У табл. 9.1 надано інформацію про зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди, що може отримати користувач товару [36].

Таблиця 9.1

Опис ідеї стартап - проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Система для ультразвукового кавітаційного очищення води. Використання ультразвукової кавітації як один із заключних етапів системи підготовки рідини.	1. Водопідготовка в очисних спорудах	Зменшення ціни системи
	2. Підготовка рідин харчової промисловості	Зменшення громісткості системи
	3. Знезараження та фільтрація технічних рідин	Збільшення ефективності систем

Аналіз техніко – економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів подано в табл. 9.2.

Таблиця 9.2

Визначення характеристик проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні)товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	Комбіновані системи	Ультра - фіолет	Хлору - вання			
1	Кількість живих мікроорганізмів, %	2	2	2	2			+
2	Вартість, тис.дол.	40	80	60	60			+
3	Розміри, м ²	5	20	15	15		+	

Проаналізувавши слабкі, нейтральні та сильні сторони техніко – економічних характеристик ідеї дозволяє зробити висновок, що вона може бути конкурентоспроможною.

9.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Оскільки ідея проекту полягає в новому виді підготовки рідин, то аудит може мати такі варіанти рішення: .

- дообладнання системи (всі комплектуючі) можна придбати на ринку України, сам ультразвуковий кавітатор є у нас в наявності;
- створення системи можна зробити вручну, або використати роботизировану техніку (буде недоцільно).

9.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Проведемо визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити реалізації проекту, що дозволить спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів [37].

1. Аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку.
(табл. 9.3).

Таблиця 9.3

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
I	II	III

Продовження таблиці 9.3

I	II	III
1	Кількість головних гравців, од.	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од.	7 млн. дол.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	10

За таблиці 9.3 видно, що за попереднім оцінюванням ринок є привабливим для входження.

- Визначення потенційних груп клієнтів, їх характеристики, та формування орієнтовних вимог до товару для кожної групи (табл. 9.4) [36].

Таблиця 9.4

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Підвищення ефективності підготовки рідин (харчових, технічних), зменшення собівартості.	- Приватні та державні підприємства харчової промисловості; - Водопідготовчі комплекси.	- Різний тип обладнання; - Різні потужності виробництва; - Різні види фільтрації.	- Малі габаритні розміри; - Надійність; - Найменша вартість.

- Проведення аналізу ринкового середовища: формування таблиць факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та

факторів, що йому перешкоджають (табл. 9.5 - 9.6). Фактори в таблицях подані в порядку зменшення значущості [36].

Таблиця 9.5

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Вартість	Вартість системи порівняно з іншими компаніями	Різде зниження ціни
2	Строк служби	Строк служби повинен бути більшим, ніж у конкурентів	Заміна на розвинутішу систему нового постачальника. Відмова від співпраці.

Таблиця 9.6

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Підвищення строку служби системи	Мікроорганізми не можуть “звикнути” до ультразвукової кавітації	Заміна існуючих комплектуючих на наші
2	Зменшення витрат на систему	Зменшення собівартості продукту, який випускається	Зниження вартості вихідного продукту

4. Проведення аналізу пропозиції: визначення загальних рис конкуренції на ринку (табл. 9.7).

Таблиця 9.7.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
I	II	II
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/ монополістична/чиста	Моно-полістична	У разі монополістичної конкуренції легко заснувати нову фірму або залишити ринок. Нові продавці часто відчують труднощі з новими для покупців торговельними марками і послугами.

Продовження Таблиці 9.7

I	II	III
2. За рівнем конкурентної боротьби локальний/національний	Національна	Національна конкуренція сприяє вливанню капіталів і товарів державою та інвесторами, створює конкурентну боротьбу
3. За галузевою ознакою - міжгалузева/ внутрішньогалузева	Внутрішньо-галузева	Сприяла зниженню витрат виробництва, впровадженню НТП, підвищенню ефективності виробництва.
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова - товарно-видова - між бажаннями	Товарно-родова	Конкуренція між різними видами товарів, які можуть виконувати подібні функції.
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	Цінова	Головною конкурентною перевагою є цінова політика на систему підготовки рідин
6. За інтенсивністю - марочна/не марочна	Марочна	Ситуація на ринку, де компанія розглядає як своїх конкурентів, що пропонують подібний продукт тим же цільовим покупцям

5. Проведення більш детального аналізу умов конкуренції в галузі (табл. 9.8).

Таблиця 9.8

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	На ринку спостерігається тенденція до збільшення кількості підприємств і посилення конкуренції на ринку.	Бар'єри входу на ринок є порівняно незначними. Вартість організації бізнесу сягає 100 тис. дол.	Існує чітка залежність від постачальників як якості продукції, так і можливих обсягів її виробництва.	Споживачі мають широку географію	Посилилася конкуренція зі сторони товарів, залежить на пряму від вибору типу підготовки рідин.

Висновки: має місце інтенсивна боротьба з боку прямих конкурентів, є можливість виходу на ринок, товари замітники пропонують вищу вартість.

6. Беручи за основу аналізу конкуренції, проведеного в пункті 5 (табл. 9.8), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 9.2), вимог споживачів до товару (табл. 9.4) та факторів маркетингового середовища (табл. 9.5 - 9.6). Визначимо та обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється до табл. 9.9 [36].

Таблиця 9.9

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Унікальність системи з використанням УЗ-кавітації.	В умовах монополістичної конкуренції, коли фактор диференціації ТМ є ключовим засобом ведення конкурентної боротьби, важливим є створення та підтримання унікального виду підготовки рідин на ринку.
2	Ціна	Оскільки такий пристрій є досить дешевий, порівняно з іншими типами, він буде досить конкурентно спроможним для споживача.
3	Маркетинговий бюджет	Від розміру маркетингового бюджету залежить здатність здійснювати маркетингову стратегію підприємства. Маркетингові заходи мають забезпечувати інші конкурентні переваги: рівень диференціації, лояльність, репутація виробника, дистрибуція та просування.

7. Складання SWOT-аналізу.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 9.10).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 9.10

SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Унікальність установки; 2. Виконує ті ж функції за більш низьку ціну; 3. Нижча ціна порівняно з конкурентами. 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Не є досить розповсюдженим на ринку; 2. Відсутність чітко вираженої маркетингової стратегії, непослідовність в її реалізації.
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Можливість збільшення обсягів реалізації системи; 2. Можливість збільшення продаж за рахунок впровадження ще більш точних систем позиціонування. 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Загроза втрати споживачів внаслідок підвищення тиску зі сторони товарів-конкурентів; 2. Загроза за рахунок пониження ціни у конкурентів.

9.4.Розроблення ринкової стратегії проекту

1. Визначення стратегії охоплення ринку.

Опис цільових груп потенційних споживачів занесено до табл. 9.11 [36].

Таблиця 9.11

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Приватні підприємства харчової промисловості	+	високий	середня	середня
2	Державні підприємства харчової промисловості	+	середній	середня	середня

3	Водопідготовчі комплекси	+	високий	середня	середня
Які цільові групи обрано: обрані всі три цільові групи потенційних споживачів					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) визначена стратегія охоплення ринку: компанія працює із всім ринком, пропонуючи стандартизовану програму (включно із характеристиками товару/послуги), значить використовується диференційований маркетинг.

2. Базова стратегія розвитку

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 9.12).

Таблиця 9.12

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Розвиток ринку	Масовий маркетинг	Низькі витрати створюють бар'єр входу для нових конкурентів і одночасно хороший захист проти товарів-замінників	Стратегія лідерства за витратами
2	Розвиток товару	Диференційований маркетинг	Першокласні властивості товару і завойована прихильність клієнтів захищають підприємство від товарів-замінників	Стратегія диференціації
3	Більш глибоке вкорінення в ринок	Концентрований маркетинг	Задоволення потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти	Стратегія спеціалізації

На основі таблиці 9.12 обрана базова стратегія розвитку - стратегія диференціації.

3. Вибір стратегії конкурентної поведінки зазначимо табл. 9.13.

Таблиця 9.13

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Так	Ні	Стратегія лідера
2	Ні	Так	Ні	Стратегія виклику лідера
3	Ні	Ні	Так	Стратегія наслідування лідеру
4	Так	Ні	Ні	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі таблиці 9.13 стратегія конкурентної поведінки - стратегія лідера.

9.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

1. Формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач.

Для цього у табл. 9.14 підсумуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 9.14

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку	Ключові переваги перед конкурентами
---	---------	-------------	-------------------------------------

п/п		пропонує товар	(існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Підвищення очисної спроможності	Підвищення якості роботи	Легкість в обслуговуванні, викростовуванні та діагностиці
2	Зменшення витрат на систему	Зниження собівартості готової продукції	Невелика вартість продукту

2. Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар.

Остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту, котре передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 9.15) [37]. Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 9.15

Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
2-3 тис. дол.	6-7 тис. дол.	250 млн. дол.	12-15 тис. дол. на ступінь

3. Оптимальна система збуту

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 9.16):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

4. Розроблення концепції маркетингових комунікацій

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 5.17) [36].

Таблиця 9.16

Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Характерно для наукомістких галузей зі специфічним і (або) дорогим товаром, який може бути придбаний обмеженим числом споживачів, які потребують специфічних компонентів для свого специфічного фінального продукту (виробництво за індивідуальними замовленнями або дрібними серіями).	Просування на ринок подібних продуктів в рамках даної системи збуту не вимагає будь-якої широкої реклами. Швидше потрібно одного разу з'ясувати, хто з потенційних покупців інновацій має в них потребу і яка поточна платоспроможність даного клієнта.	Канал нульового рівня	Система складається з виробника, який продає свій товар безпосередньо споживачам (через відділ збуту, збутові філії, мережу фірмових магазинів, поштову торгівлю тощо)

Таблиця 9.17

Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Наукомісткі галузі зі специфічним і (або) дорогим товаром, який може бути придбаний обмеженим числом споживачів	Включають в себе пряму поштову розсилку, замовлення по друкованим каталогам і продаж в режимі он-лайн.	Конкурентне позиціонування, яке базується на демонстрації переваг товарів підприємства над товарами конкурентів.	Отримати можливість у кілька разів збільшити обсяг продажу своїх товарів	Головними елементами структури реклами є тема реклами і девіз рекламної кампанії.

Висновки до розділу

Було проведено аналіз можливості ринкової комерціалізації проекту. За результатами якого було встановлено, що технологічна реалізація проекту цілком можлива, визначені його сильні та слабкі сторони, конкурентні позиції на ринку підготовки рідин.

Даний ринок є привабливим для входження через невелику вартість та високу ефективність технології. З огляду на потенційні групи клієнтів, не дуже великі бар'єри входу на ринок, через унікальність технології, у порівнянні з товарами конкурентів, даний проект можна вважати перспективним для впровадження.

ВИСНОВКИ

Найбільш важливим, з точки зору життєдіяльності людини, безсумнівно, є процес знезараження стічних вод, питної води і рідких технологічних середовищ, з якими безпосередньо контактує людина.

Проблема знезаражування рідких середовищ не нова. Традиційно проблему вирішують шляхом застосування реагентних способів, які базуються на застосуванні сильних окислювачів, таких як хлор, озон, або насичуючи рідину іонами благородних і кольорових металів, що володіють бактерицидними властивостями.

Розрізняють наступні способи знезараження рідких середовищ: хлорування; озонування; сріблення; термічне очищення; УФ опромінення.

Основними перевагами та недоліками даних методів є: високий ступінь небезпеки процесу знезараження; необхідність контролю дозування реагенту; залежність ефективності інактивації від хіміко-фізичного складу рідини; наявність побічних продуктів хімічних реакцій, що виникають в процесі знезараження; залишкові речовини накопичуються в організмі людини; великі енерговитрати термічного способу знезараження при порівняно малій продуктивності процесу; застосування низьких температур можна використовувати тільки як спосіб продовження терміну зберігання початково чистої води; висока залежність ефективності застосування УФ-опромінення від прозорості рідини і кількості механічних забруднень; бактерицидна дію УФ-променів ефективно на малій відстані.

Ультразвукова кавітація – ще один метод знезараження води – на відміну від інших, не володіє перерахованими недоліками та потенційно може бути використовуватися на практиці для знезараження великих обсягів рідин.

Кавітаційна обробка рідини сприяє її активації, змінює її фізико-хімічні властивості, інтенсифікує хіміко-технологічні процеси. Для посилення кавітаційного впливу на рідину, необхідно здійснити комплексний багатofакторний вплив на неї. Для цих цілей використовуються

гідродинамічні, електродинамічні, п'єзоелектричні, магнітострикційні генератори кавітації.

Запропонована методика розрахунку дозволяє проектувати циліндричні ультразвукові кавітаційні камери фільтра з ефектом регенерації. Дана методика враховує як резонансну частоту електро-акустичних випромінювачів, так і складність геометричної форми кавітаційної камери ультразвукових пристроїв. Це дозволило створити ефективне ультразвукове кавітаційне технологічне обладнання фільтрування рідин з регенерацією фільтрувальних перегородок, яке знайшло впровадження в кавітаційних технологіях в машинобудуванні, сільському господарстві, харчовій промисловості та медицині.

У ході дослідження було розроблено ультразвукову кавітаційну установку з наступними параметрами: потужність – 800 В, частота коливань – 22,4 кГц, продуктивність – до 50 л/хв, тиск рідини – до 1,0 МПа, напруга живлення – 50 Гц, яка застосовується на практиці, задля експериментального числового знаходження ефективності використання ультразвукового кавітативного обладнання для фільтрації рідин у різних технологічних процесах.

Після проведення усіх досліджень було з'ясовано, що ефективність обробки води від бактерій проточним кавітатором скала 70,0% на 20 цикл обробки, що нижче від значень стаціонарного кавітатора (99,0%).

За даних режимів обробки із витратами води 11,2-16,7 л/хв, тривалість обробки води для знезараження до допустимих санітарних норм (для технічної води) тривалість обробки повинна складати 1,8-5,0 годин, а при використанні режиму з витратами води 11,14 л/хв, але за іншого контуру ефективний час обробки зменшувався до 1 год 40 хв.

Зазначимо, що у подальшому доцільно провести повторне дослідження режимів із витратами води 4 л/хв, та 1 л/хв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алферова А.А., Нечаев А.П. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов. - М.: Стройиздат, 1987.
2. Гавич И.К. Методы охраны внутренних вод от загрязнения и истощения.- М.: Агропромиздат, 1985.
3. Жуков А.И. Монгайт И.Л., Родзиллер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод М.: Стройиздат, 1987.
4. Соколов А.К. Охрана производственных сточных вод и утилизация осадков. - М.: Стройиздат, 1992.
5. Мікроорганізми у воді. URL: <https://ecosoft.ua/ua/blog/mikroorganizmy-v-vode/>.
6. Технологія та обладнання одержання питної та технічної води. Практикум. Частина 1. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / Н.М. Толстопалова, М.І. Літинська, Т.І. Обушенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського – Електронні текстові дані (1 файл: 4,00 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 101 с.
7. Шевчук Л. І. Очищення води від органічних та біологічних забруднень в умовах кавітації: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.17.21 / Л. І. Шевчук / Київ, 2015. – 42 с.
8. Луговський О.Ф. Оцінка методів знезараження води / А. Ф. Луговський, А. В. Мовчанюк, І. А. Гришко // - Вісн. Нац. техн. ун-ту України «Київ. політехн. ін-т»: серія «Машинобудування». - 2008. - № 52. - С.103-111.
9. Питер С. Картрайт. Новые проблемы загрязнения питьевой воды // Вода и водоочистные технологии, 2018. - №1(87). – С. 4-12.

10. Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч.2.: Методи очищення стічних вод / В.Г. Петрук, Л.І Северін, І.В. Васильківський. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 254 с.
11. H. Ødegaard, S. Østerhus, E. Melin and B. Eikebrokk. NOM removal technologies – Norwegian experiences // Drinking Water Engineering and Science, 2010. - №3. P. 1-9.
12. Методы и способы очистки воды. URL: https://oil-filters.ru/water_cleaning_methods/.
13. Лукиных Н.А., Липман Б.Л., Криштул В.П. «Методы доочистки сточных вод». М. Стройиздат, 1978 г.
14. Фізико-хімічні методи очищення води. Управління водними ресурсами / Під редакцією І.М. Астреліна, Х. Ратнавіри. – К.: «Ніка-Центр», 2015. – 614 с.
15. Методичні вказівки до курсового проекту за курсом “ПРОЕКТУВАННЯ ОБ’ЄМНИХ ГІДРОПРОВОДІВ” для студентів з фаху “ГІДРАВЛІЧІ І ПНЕВМАТИЧНІ МАШИНИ”/ [уклад. В.К. Буслов]; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". — К.: НТУУ "КПІ", 2008. — 80 с.
16. Пневматический мембранный насос. URL: <https://www.seko.com/ru/product/duotek-series-pump>.
17. Ємність для води пластикова горизонтальна 100 л рb 1-шарова. URL: <https://europplast.ua/ua/emkost-gorizontalnaya-100-l-pb>.
18. Дроссель Oleodinamica Marchesini с обратным клапаном VRFU 90. URL: <https://hydromaximum.com.ua/p547049461drosseloleodinamicamarchesini.html>.
19. Стрелочные термометры. URL: <http://www.eximpribor.com.ua/directory/measurementcontrolandtemperature-control/measuring-and-monitoring-temperature-sika/dial-thermometer.html>.
20. Редукционные клапаны. Серия 681. URL: <https://www.goetze-armaturen.de/ru/produkcija/oborudovanie-dlja->

promyshlennosti/reduktorydavlenija-dlja-promyshlennosti-i-zdaniy/modelnyi-rjad-681/.

21. Цифровой счетчик-Al турбинные колеса. URL: <https://www.fmtag.com/dieselundheizoel/?lang=ru#!/c/2075/s/17259/i/1209427/23295>.
22. Манометры глицериновые виброустойчивые. URL: <http://filter-ua.com.ua/manometri-glicerinovye-vibroustoychivye/manometr-ytn-60/>.
23. Двойной корпус ATLAS Filtri 10 DP DUO. URL: <https://rolfis.com.ua/shop/filtry-dlya-vody/magistralnye-filtry/dlyakholodnoy-vody/dvoynoy-mekhanicheskiy-filtr-atlas-filtri-10-dp-du.html>.
24. Кран шаровый ppr rozma с рв 3/4"x3/4" с пластиковым шаром. URL: <https://www.sinor.ua/kran-sharovij-3-4-3-4rvpprpolipropilenovijplastikrozma>.
25. Обратный клапан 20. URL: <https://dongorplast.net/p133815738-obratnyj-klapan-plastikovye.html>.
26. Промтов. М.А. Методы и устройства для комплексной кавитационной обработки жидкостей // 2006. URL: <http://dewa.ru/wp-content/eito13methods-complex-liquids.pdf>.
27. Луговський О.Ф. Методика розрахунку циліндричної ультразвукової кавітаційної камери фільтра з ефектом регенерації / О. Ф. Луговський, А. І. Зілінський, А. В. Шульга, І. А. Гришко, А. Д. Лавріненков, О. С. Галецький, О. П. Завалій // Вісник НТУУ «КПІ», серія: радіотехніка. – Випуск 82. – 2020. – С. 52 – 60.
28. Завалій О. П. Система для ультразвукової кавітаційної очистки води / О. П.Завалій, А. І. Зілінський, І. А. Гришко, Д. Р. Абдуліна // Інновації молоді в машинобудуванні. – Випуск 2. – 2020. – С. 356-361.
29. Попов Е. М. Финансы организаций: учебник / Е. М. Попов. – Минск, 2015. – 431 с.
30. Ленточная пила FDB Maschinen SG 220 HD. URL: <https://www.valeon.com.ua/shop/product/lentochnaia-pila-fdb-maschinen-sg-220-hd>.

31. UMC-750. URL: <https://www.haascnc.com/ru/machines/vertical-mills/universal-machine/models/umc-750.html>.
32. CoroPlus® Tool Guide URL: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/coroplus-toolguide/pages/default.aspx>.
33. Автоматы для зварювання. URL: <https://mykonspekts.ru/1-101144.html>.
34. Роботизированная сварка: технология, стандарты, особенности применения. URL: <https://vektor-grupp.ru/articles/1114>.
35. Буслов В. К., Методичні вказівки до охорони праці К: НТУУ «КПІ» 1999, 61 с.
36. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
37. Маллинс, Дж. Поиск бизнес-модели: как спасти стартап, вовремя сменив план / Дж. Маллинс, Р. Комисар; пер. с англ. М. Пуксанта и Е. Бакушевой. – Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2012. – 329 с.